



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



Deformační vlastnosti vpichovaných netkaných textilií při dynamickém namáhání

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Autor práce: **Josef Culek**
Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.





Deformation properties of needlepunched nonwovens under dynamic stress

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials
Author: **Josef Culek**
Supervisor: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.





Zadání bakalářské práce

Deformační vlastnosti vpichovaných netkaných textilií při dynamickém namáhání

Jméno a příjmení: **Josef Culek**
Osobní číslo: **T14000347**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní technologie, materiály a nanomateriály**
Zadávající katedra: **Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů**
Akademický rok: **2017/2018**

Zásady pro vypracování:

1. Studujte vliv rychlosti deformace na mechanické vlastnosti materiálů.
2. Na základě informací získaných z rešerší navrhnete experimenty vhodné k popisu vlivu rychlosti deformace na pevnost textilií.
3. Navrhnete a realizujete měřicí zařízení a provedte potřebné experimenty.
4. Diskutujte získané výsledky.

Josef Culek
2017/2018



[Signature]

Rozsah grafických prací:

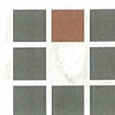
dle potřeby dokumentace

Rozsah pracovní zprávy:

30-40 dle potřeby

Forma zpracování práce:

tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

1. ZHERNOKLETOV, Mikhail V. a B. L. GLUSHAK. Material Properties under Intensive Dynamic Loading [online]. 2006. ISBN 3-540-36844-2
2. BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. Liberec [cit. 2019-04-15]. ISBN 978-80-88058-68-7
3. SCHINDLER, Ivo a Petr KAWULOK. DEFORMAČNÍ CHOVÁNÍ MATERIÁLŮ [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2019-02-15]. ISBN 978-80-248-3361-3

Vedoucí práce:

Ing. Ondřej Novák, Ph.D.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

20. února 2018

Předpokládaný termín odevzdání:

18. dubna 2019


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

V Liberci 20. února 2018




Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

17. 4. 2019

Josef Culek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3106R016 Textilní technologie, materiály a nanomateriály

**Deformační vlastnosti vpichovaných netkaných textilií při
dynamickém namáhání.**

Josef Culek

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Bc. Ondřej Novák Ph. D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Havlíček CSc.

Rozsah práce:

Počet stran textu: 69

Počet obrázků: 45

Počet tabulek: 15

Počet stran příloh: 2

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za vedení bakalářské práce panu Ing. Bc. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za věcné připomínky a odbornou pomoc.

Dále děkuji panu Ing. Jiřímu Havlíčkovi, CSc. za konzultace a věcné připomínky a odbornou pomoc.

Dále děkuji panu Ing. Aleši Lufinkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultace.

Poděkování dále náleží mé přítelkyni, celé rodině, kolegům ze zaměstnání a přátelům, kteří mě plně podporovali po celou dobu studia.

Anotace

Práce se zabývá vlastnostmi polymerů při dynamickém namáhání. Pro realizaci experimentu byl navržen padostroj, včetně metodiky provádění zkoušky. Dále se bakalářská práce zabývá dynamickým a statickým namáháním materiálů vyrobených technologií vpichování s odlišnými parametry.

Cílem této bakalářské práce je porovnat odolnost vybraných vpichovaných textilií při dynamickém a statickém namáhání pomocí padajícího kužele. Zjištěné chování výsledky jsou diskutovány.

Klíčová slova

Měření vzniklého otvoru, padající kužel, měřicí kužel, vpichovaná textilie

Anotation

The bachelor thesis deals with dynamic and static stress of two samples from different materials with different parameters.

The aim of this bachelor thesis is to determine the resistance of nonwoven fabrics due to dynamic stress by falling cone. It was possible to implement the proposed method in practice and to record all data thoroughly.

Keywords

Measurement of the resulting hole, falling cone, measuring cone, needle-punched fabric

Obsah

Úvod.....	13
Rešeršní část.....	14
1. Faktory ovlivňující životnost polymerů.....	14
1.1 Mechanické vlastnosti polymerů.....	14
1.2 Dynamické rázové namáhání	16
1.2.1 Rázová houževnatost materiálu	16
1.2.2 Rázová a vrubová houževnatost Charpy.....	17
1.2.3 Rázová a vrubová houževnatost Izod	18
1.2.4 Odrazová pružnost elastomerů	19
2. Technologie vpichování.....	20
2.1 Popis jehly	20
2.2 Typy používaných jehel	22
2.3 Základní parametry vpichování.....	25
3. Experimentální část.....	27
3.1 Odolnost vůči proražení, zkouška padajícím kuželem.....	27
3.2 Navržení konstrukce padostroje	29
3.2.1 Výběr materiálu pro konstrukci rámu padostroje.....	30
3.2.2 Lineární kuličkové ložisko	31
3.2.3 Vodící tyč.....	32
3.2.4 Tenzometr	33
3.2.5 Normovaný kužel.....	33
3.2.6 Kruhové čelisti	34
3.2.7 Realizace padostroje.....	35
3.2.8 Univerzální zkušební stroj	38
3.2.9 Tloušťkoměr	38
3.3 Použité materiály	39
3.3.1 Vzorek č. 1.....	39
3.3.2 Vzorek č. 2	40
4. Postup měření	41
4.1 Měřící kužel.....	41
4.2 Způsob sběru dat	42
4.3 Kalibrace	43
4.4 Snímané veličiny	43
4.5 Hypotéza.....	43

5. Výsledky	47
5.1 Dynamické namáhání.....	47
5.2 Statické namáhání	51
5.3 Porovnání statického a dynamického namáhání	57
5.4 Porovnání průměrů otvorů.....	59
5.4.1 Vzorek č. 1	59
5.4.2 Vzorek č. 2.....	60
6. Diskuze	62
7. Závěr.....	64
Seznam obrázků	67
Seznam tabulek.....	69
Seznam grafů	69

Seznam použitých zkratk

ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
ISO	international organization for standardization
NT	netkaná textilie
TUL	technická univerzita Liberec
KNT	katedra netkaných textilií
PL	polyester
PP	polypropylen

Seznam použitých symbolů

%	procento
m	metr
mm	milimetr
N	newton
M	metrický závit
F	síla
D	průměr
J	energie
kg	kilogram
g	gram
h	výška
v	rychlost
s	sekunda
dtex	decitex
Hz	frekvence
Ep	potenciální energie
Ek	kinetická energie
m.s	metr za sekundu
g.m^{-2}	plošná hmotnost
kg.m^{-3}	objemová hmotnost

Úvod

Netkané textilie mají široké uplatnění v různých průmyslových odvětvích. Škála jejich využití je velmi široká a rozmanitá. Záleží na požadavcích na danou textilií, jaké má mít vlastnosti a jak ji bude uživatel aplikovat. Dle způsobu užití netkané textilie, je důležité vytvořit tuto textilií odpovídající technologii a zvolit vhodnou úpravu.

Pro nestandardní využití netkané textilie je žádoucí provést experiment, kterým se zjistí, zda jsou tyto požadavky možné a vyhovující či ne. Například jedna-li se o netkanou textilií vytvořenou technologií vpichování, bude mít jistě jiné výsledky na pevnost, tažnost atd. než netkaná textilie vyrobená například technologií Spun-bond.

V této práci bude zkoumán vliv dynamického namáhání padajícím kuželem na výslednou pevnost textilie. Tento experiment bude mít přínos v různých průmyslových odvětvích, například ve stavebnictví (geotextilie a geosyntetika), balistice, nebo automobilovém průmyslu.

Důležité bude vybrat vhodné vzorky vpichované textilie pro tento experiment. Dalším krokem bude návrh a vytvoření testovacího zařízení, na kterém bude možné realizovat dynamické a statické namáhání.

Rešeršní část

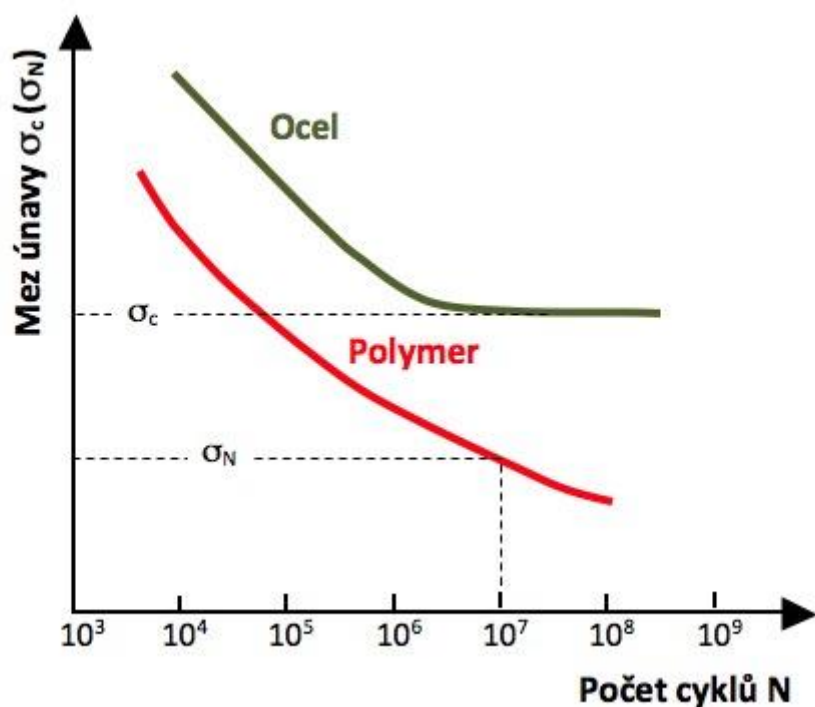
1. Faktory ovlivňující životnost polymerů

Životnost polymerů je ovlivněna mnoha faktory, zejména typem polymeru, stářím polymeru, geometrií materiálu, dobou zatěžování, způsobem namáhání, teplotou a vlhkostí prostředí, velikostí amplitudy napětí, frekvence zatěžování atd. Níže budou popsány jednotlivé vlivy.

1.1 Mechanické vlastnosti polymerů

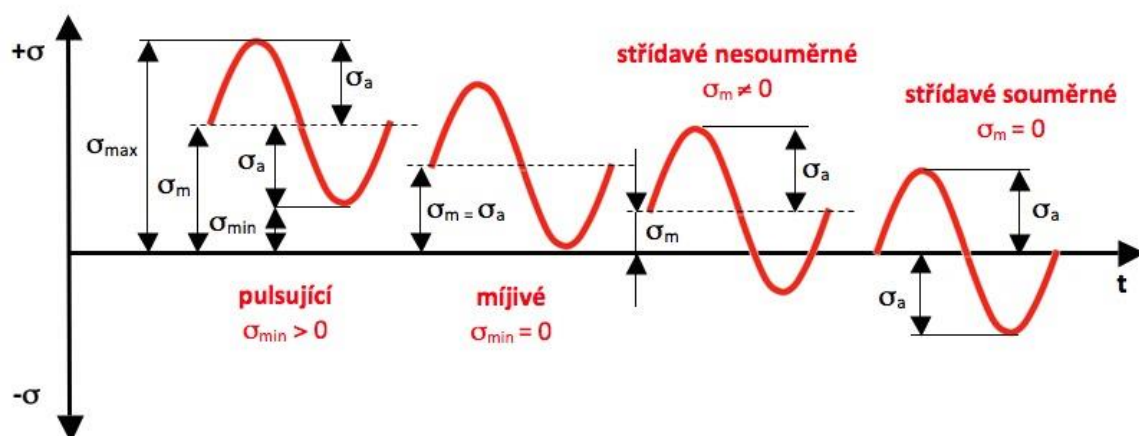
Celá řada polymerních materiálů je opakovaně namáhána různými deformacemi. Pokud jsou vystavené polymerní součásti namáhání (např. tahovému, tlakovému, ohybovému apod.) jehož velikost se mění v závislosti na čase, může se objevit trhlina během jejího provozu, která se může šířit pomalu, až dojde k lomu součásti k tzv. dynamické únavě materiálu. Takovému lomu říkáme, lom únavový.

Tomuto lomu žádná plastická deformace nepředchází, tuto součást nic nedeformuje a křehce praskne. U polymerů se zvýšenou vrubovou houževnatostí, se trhliny šíří pozvolně a někdy může dojít k zastavení jejich růstu.



Obrázek 1: Obecná Wöhlerova křivka pro ocel a polymer

U polymerních materiálů jsou prováděny únavové zkoušky zpravidla při cyklickém namáhání v ohybu, tlaku, tahu (za rotace, nebo na plochých tyčích), nebo krutu. Namáhání může mít střídavý, nebo pulsující charakter. „Časový průběh namáhání má obvykle sinusový charakter.“ Únavové zkoušky jsou vhodné pro elastomery jako vysoce deformovatelné materiály, které probíhají při konstantní deformaci, nebo konstantním napětí. „Pro stanovení časové meze únavy se volí zatížení tak, aby spadalo do 5 % až 80 % meze pevnosti.“



Obrázek 2: Schéma časové závislosti cyklického namáhání

σ_m - střední napětí kmitu, σ_a - mezní výkmit napětí (amplituda), σ_{min} , σ_{max} - minimální a maximální napětí. [2]

Polymeru je nutné dodávat energii pokaždé při namáhání. Po ukončení namáhání je část dodané energie vrácena zpět. Tento děj můžeme nazvat elasticitou. Určité procento energie se přemění v teplo a zpět se již nevrátí. Tento děj nazýváme **tlumení**. Dynamické namáhání umožňuje zkušební metodou zjistit tlumení (opakovaným odlehčováním a zatěžováním) přičemž je deformační křivka napětí a deformace zaznamenána. U ideálně pružného tělesa po zatížení a následném odlehčení se křivky překrývají. Po několika kmitech po zatížení a odlehčení dojde u polymeru k ustálení děje a vytvoření tzv. **hysterezní smyčky** viz Obr. 3.

S_{zat} - značí plochu pod křivkou zatížení a množství práce využité k deformaci vzorku.

S_{odl} - značí plochu pod křivkou odlehčení a práci konanou při odlehčení vzorku.

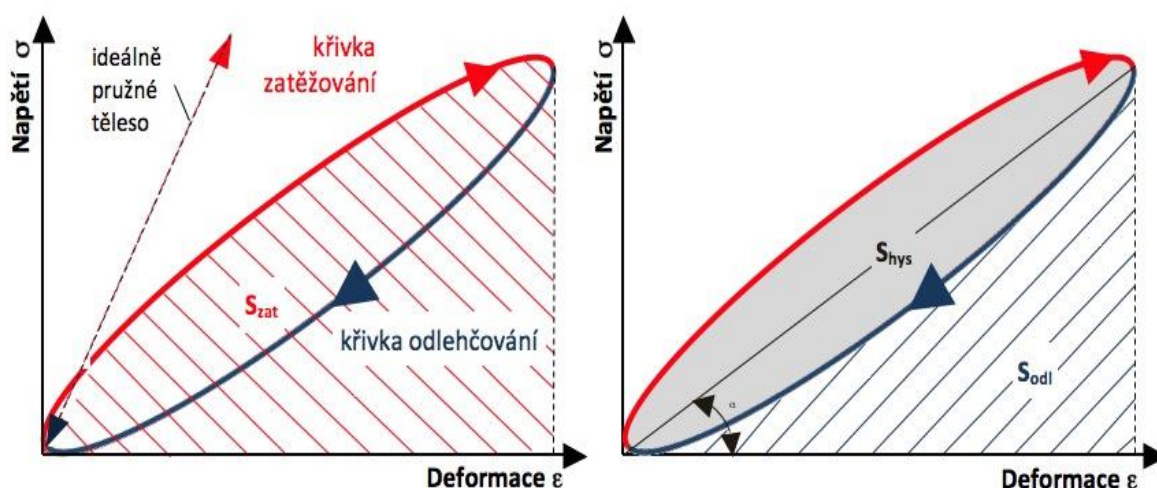
S_{hys} - značí plochu mezi křivkami a nazývá se práce **hysterezní**.

Tato práce se přemění většinou například na teplo, nebo jiný druh energie. Jako **disipaci** lze nazvat nevratnou energii, která se přemění na jinou. K dosažení nižších hysterezních ztrát je nutné použít pevnější strukturu polymeru. Například u polymerů s teplotou pod bodem skelného přechodu jsou nízké ztráty, nebo též u termoplastů s vyztužujícími plnivy či reaktoplastů, protože je jejich struktura sesítěná. Tlumení lze vyjádřit následující rovnicí.

$$D = \frac{S_{hys}}{S_{zat}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Pokud se bude polymer zahřívat, dojde tak k přeměně mechanické energie na teplo, což je důsledek ztráty této energie. K urychlení mechanické destrukce polymeru při dynamickém namáhání je zapotřebí hromadění energie a zvyšování teploty.

Pro cyklické děje je charakteristickou veličinou dynamická tuhost. Sklon hysterezní smyčky určuje dynamickou tuhost (tangentou úhlu α , viz obr. 3)



Obrázek 3: Hysterezní smyčka

[2]

1.2 Dynamické rázové namáhání

Je důležité znát polymerní rázové charakteristiky strojních součástí, které jsou rázově namáhány. Namáhání rázové je považováno s rychlostí 1 – 10 m/s.

1.2.1 Rázová houževnatost materiálu

Jedná se o vlastnost materiálu absorbovat rychle energii a určitou rychlostí se deformovat. Nejvyšší rázovou houževnatost mají elastomery. Naopak u termoplastů a

reaktoplastů může při rázovém namáhání dojít ke křehkému, nebo houževnatému lomu. Pokud je okolní teplota nižší, než je teplota skelného přechodu zkoušeného vzorku, dochází tak při zkoušce k přeražení, protože je za těchto podmínek vzorek křehký. U polymerů s nižší teplotou skelného přechodu než je teplota okolní, nemusí k přeražení vůbec dojít, díky jejich vysoké houževnatosti. V těchto případech je zapotřebí vytvořit středem těchto vzorků v celé jejich délce vrub. Tento vrub zajistí vyšší koncentraci ve své blízkosti a při rázovém namáhání dojde v houževnaté části k narušení a pak lze mluvit o tzv. **vrubové houževnatosti**.

Rázová houževnatost polymerů má několik hledisek, na kterých dosti záleží: stárnutí, vlhkost, teplota, složení, podmínky zkoušky, zvolená zkušební metoda, tvar a rozměr zkušebního vzorku. Rázové zkoušky prováděné u plastů se preferují pomocí kyvadlového kladiva metodu Izod nebo Charpy. Jsou známy i zkoušky v tahu. Kladiva je možné měnit s proměnou energií, aby bylo možné testovat širokou škálu různých polymerů. V případě elastomerů je hodnocena **odrazová pružnost**. Pro elastomery se používají přístroje typu Lüpke a Schob.

1.2.2 Rázová a vrubová houževnatost Charpy

„Rázová houževnatost Charpy (a_{cu}) je definována jako kinetická energie (E_c) spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa vztažená na jeho původní průřez - tloušťku (h) a šířku (b), viz rovnice” (2).

$$a_{cv} = \frac{E_c}{h \cdot b} [kJ/m^2] \quad (2)$$

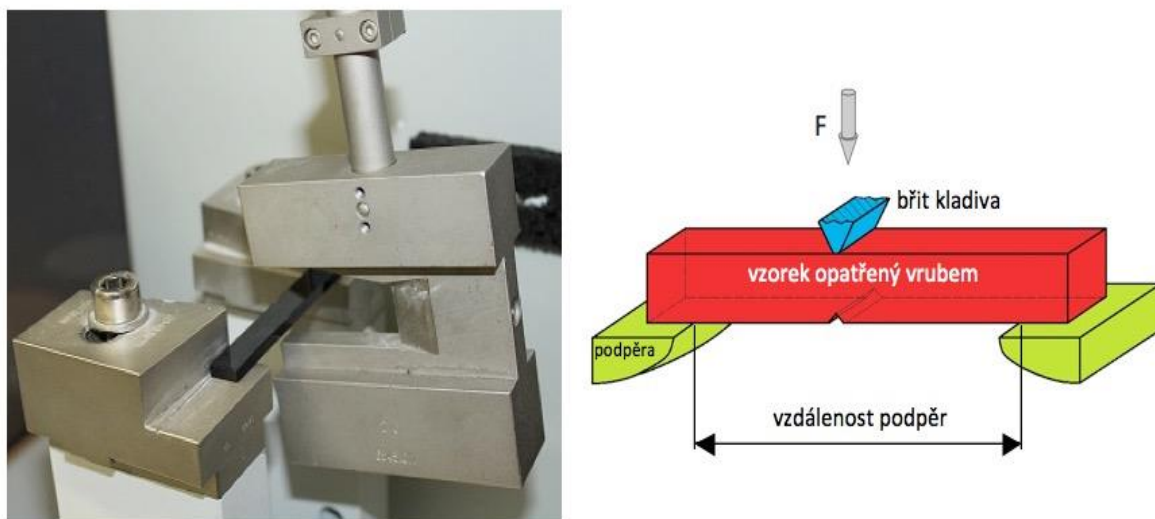
Při hodnocení metodou Charpy je zkušební vzorek umístěn v horizontální poloze na podpěrách. Když je vzorek takto připraven může být přeražen úderem rázového kladiva. Úder je veden středem vzorku mezi podpěrami na širší nebo užší stranu. Zkušební vzorek je ohýbán nominální konstantní rychlostí 2,9 m/s. V průběhu zkoušky je zaznamenávána spotřebovaná energie potřebná k přeražení vzorku. Dále také typ přeražení: N (nepřeraženo) P (částečné) a C (úplné, včetně kloubového – neúplného přeražení, kdy obě části drží pospolu bez zbytkové tuhosti slabou obvodovou vrstvou v podobě kloubu).

Jestliže se použije vzorek s vrubem, je směr rázu veden opačnou stranou, než na které se nachází vrub, viz obr. 4. Směr rázu je pak veden na užší stranu. „Vrubová houževnatost Charpy (a_{cN}) je pak definována jako kinetická energie (E_c) spotřebovaná k přeražení zkušebního

tělesa opatřeného vrubem vztažena na jeho původní průřez pod vrubem – tloušťku (h) a šířku pod vrubem (b_N), viz rovnice” (3)

$$a_{cN} = \frac{E_c}{h \cdot b_N} \quad [\text{kJ/m}^2], \quad (3)$$

kde $N=A,B,C$.



Obrázek 4: Průběh rázové zkoušky Charpy

[2]

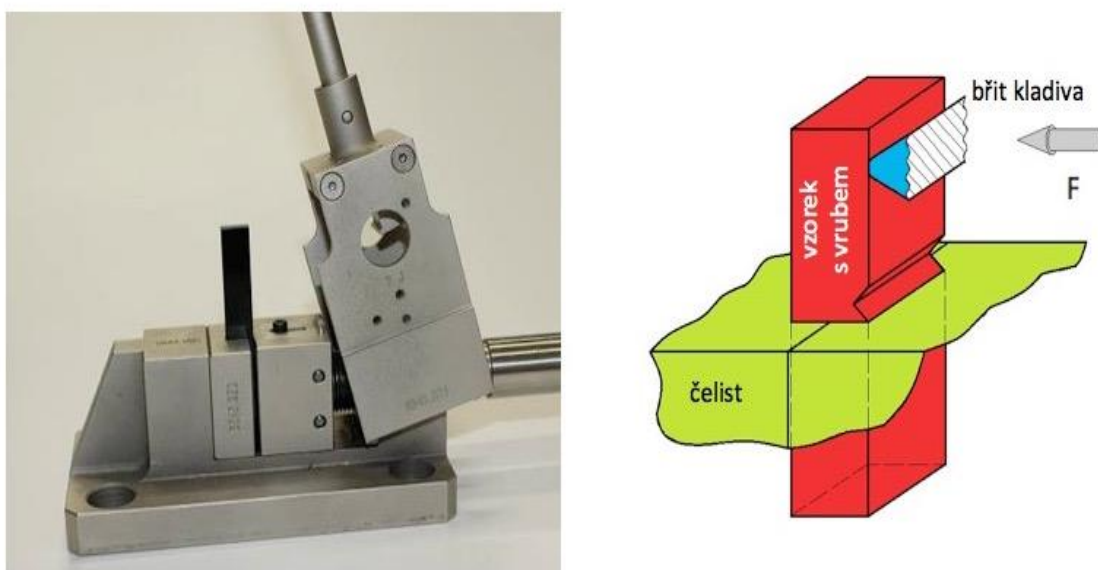
V souladu s mezinárodním předpisem pro hodnocení vrubové rázové houževnatosti se opatřuje vzorek vrubem tvaru „V” s různým zaoblením kořene vrubu (standardní typ A, B nebo C). Vrub „U” používají některé koncernové (podnikové) předpisy a připouští směr rázu na širší stranu vzorku.

1.2.3 Rázová a vrubová houževnatost Izod

„Rázová (a_{iU}) a vrubová houževnatost Izod (a_{iN}) jsou definovány analogicky jako u metody Charpy, viz rovnice” (4).

$$a_{iv} = \frac{E_C}{h \cdot b} \quad [\text{kJ/m}^2] \quad (4)$$

Jako u předchozí metody Charpy je zde rázové kladivo, pomocí kterého je hodnocena rázová vrubová houževnatost. Rychlost úderu u metody Izod je 3,46 m/s. Do čelistí je vzorek upnutý jako vertikálně vetknutý nosník. Vzdálenost přímky rázu prochází v dané vzdálenosti od místa upnutí zkoušeného vzorku, v dané vzdálenosti od osy vrubu. U metody Izod, je ráz uskutečněn na straně vrubu.



Obrázek 5: Průběh rázové zkoušky Izod

[2]

Rázové zkoušky Izod a Charpy charakterizují spíše polymer samotný, než hotový výrobek. Pro hodnocení rázové houževnatosti polymerních výrobků se používají speciálně konstruované padostroje.

1.2.4 Odrazová pružnost elastomerů

Mezi jednoduché a rychlé metody patří zkouška odrazové pružnosti. Zkouška spočívá v tom, jak je elastomer schopen absorbovat, resp. vracet mechanickou energii při rázové deformaci. Zpět ve formě mechanické energie se vrátí u ideálně pružného tělesa. „V principu se jedná o to, že kyvadlové kladivo dopadá na zkoušený vzorek z předepsané výšky a odrazová pružnost (R_s) se stanoví z poměru potenciální energie vrácené k energii dodané při rázu, resp. z poměru výšky odrazu (h_r) a dopadu (h_0),” viz rovnice (5)

$$R_s = \frac{h_r}{h_o} \cdot 100 [\%] \quad (5)$$

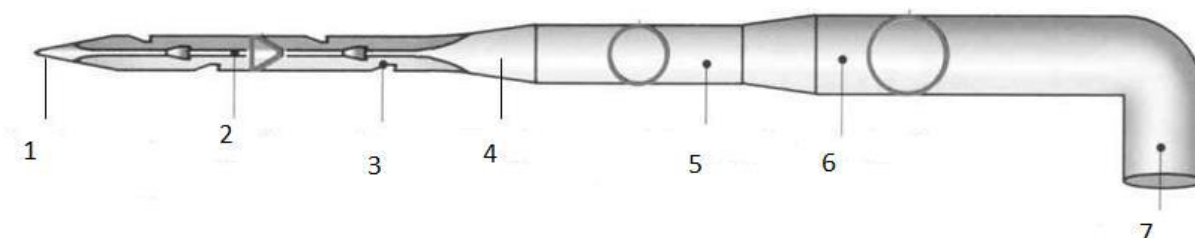
Přístroje typu Schob a Lüpke se používají pro stanovení odrazové pružnosti. V gumárenské praxi se používá metoda podle Schoba pro rychlou kontrolu elastomeru. Ve tvaru ocelové kuličky o průměru 7,5 mm dopadá kladivo na zkušební vzorek s energií 0,5 J a rychlostí pádu 2 metry za sekundu. Za podmínek zvýšené či snížené teploty se používá metoda podle Lüpkeho. U této metody je měřena vzdálenost odrazu tyčového kyvadla po dopadu na vzorek o hmotnosti 350 g [2].

2. Technologie vpichování

Vpichování bylo vyvinuto jako náhrada plstění již v minulém století. Je to jeden z nejstarších a nejrozšířenějších způsobů zpevňování vlákněných vrstev. Podstatou vpichování je provazování vlákněné vrstvy svazky vláken vzniklými přeorientací části vláken účinkem průniku jehel s ostny. Během vpichování také dochází k redukci tloušťky vlákněné vrstvy, k výrazné přeorientaci všech vláken a ke změnám délky i šířky útvaru.

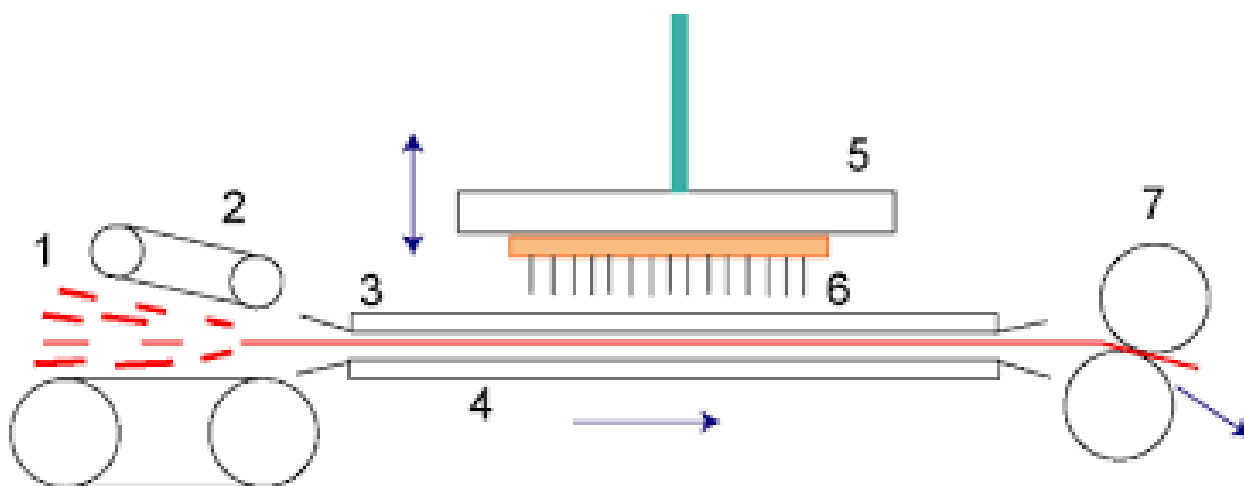
2.1 Popis jehly

Na obr. 6 je znázorněna plstící jehla redukovaná, kde jsou popsány její části.



Obrázek 6: Plstící jehla redukovaná

1 – hrot, 2 – pracovní část, 3 – ostén, 4 – zúžení, 5 – redukovaná část, 6 – stvol, 7 – kolínko [10]



Obrázek 7 Schéma vpichovacího stroje

1 - vlákenná vrstva, 2 - vstupní ústrojí, 3 stěrací rošt, 4
- opěrný rošt, 5 - jehelná deska, 6 - vpichovací jehla, 7 – výstupní ústrojí [5]

Mezi dva perforované rošty, které slouží jako vstupní zařízení je přiváděna vlákenná vrstva. Otvory v roštích pronikají periodicky vpichovací jehly umístěné v jehelné desce. Ostny jehel zachytávají skupiny vlákenné vrstvy, přeorientovávají je kolmo k vrstvě a protahují vláknou vrstvou. Vrstva je posunována odtahovými válci po spodním roštu, tzv. opěrném. Při zpětném pohybu soustav jehel zabezpečí vrchní, tzv. stěrací rošt vysunutí jehel z vlákenné vrstvy.

Míra zpevnění vlákenné vrstvy souvisí mimo jiné s počtem vpichů na jednotku plochy vrstvy. Produkce stroje je tedy funkcí počtu jehel v jehelné desce a dosažitelné frekvence jehelné soustavy. Při průchodu každé jehly vláknou vrstvou může na jehlu působit vysoká síla, až 10 N. To vyvolává potřebu masivní konstrukce roštů, jehelné desky a pohybového ústrojí. K dosažení vysokých frekvencí těžké jehelné desky (běžně 800 zdvihů za minutu, špičkové až 2200 za minutu) je třeba limitovat amplitudu a tudíž i vzdálenost roštů, obvykle na 60, respektive 40 mm. Úkolem přiváděcího zařízení je pak redukovat tloušťku výchozí vlákenné vrstvy, která může být až 250 mm na rozměr menší než je vzdálenost roštů a to pravidelně, bez vzniku nerovnoměrností. To je obtížný úkol, který se řeší buď konstrukcí přiváděcího zařízení, nebo použitím předvpichovacího stroje.



Obrázek 8: Znáznorňuje vpichovací linku.

[6]

Pracovní část jehly má obvykle průřez rovnostranného trojúhelníku. Na jedné, dvou, obvykle však na všech třech hranách jsou vpichovací ostny [3].

2.2 Typy používaných jehel

Příklady používaných jehel jsou níže znázorněny od firmy Groz-Beckert. Na obr. 9 je znázorněn standardní trojúhelník je univerzálně použitelný a vytváří vysokou kvalitu povrchu.



Obrázek 9: Jehla Standard-Dreikant

[6]

Při speciálních vlastnostech varikolorové jehly (obr. 10) jsou sníženy síly při vniknutí do textilie, vysoká stabilita a dobré jehlové účinky – dosažené následnými většími zářezy.



Obrázek 10: Jehla Variokerbennadel
[6]

Obr. 11 znázorňuje plstňovací jehlu s kuželovou pracovní částí jsou ve srovnání se standardní pracovní částí, zejména při zvýšené stabilitě.



Obrázek 11: Jehla Konische Nadel
[6]

Stříhací jehla (obr. 12) Cross STAR® je vhodná zejména pro vpichování vysokých zatížení. S nimi jsou dosaženy jednotné vlastnosti materiálu a nejvyšší pevnosti v tahu v podélném a příčném směru.



Obrázek 12: Jehla Cross STAR

[6]

Stříhací jehla (obr. 13) Tri STAR® je charakteristická konkávními pracovními plochami s úzkými úhly okrajů. Tím se dosáhne definované vlákenné smyčky a lepšího držení vláken v zářezu.



Obrázek 13: Jehla Tri STAR

[6]

Na obr. 14 je znázorněna jehla pro aplikačně-technické problémy, jako je výroba papírenských strojů a filtračních plstí, vyžadují vysokou ochranu jehlového výrobku. Tady kapka-tvarovaná pracovní část nabízí ideální podmínky.



Obrázek 14: Jehla Tropfenform
[6]

Na obr. 15 je znázorněna plnicí jehla EcoStar® má zcela přepracovanou geometrii pracovních dílů, která může být použita téměř ve všech aplikacích [6].



Obrázek 15: Jehla EcoStar

2.3 Základní parametry vpichování

Počet vpichů na jednotku plochy textilie:

$$V_p = \frac{a \cdot f \cdot p}{v} \quad (1)$$

V_p je počet vpichů na m²

a - celkový počet jehel na 1 m vpichovací desky (ve všech řadách dohromady)

f - frekvence desky za 1s

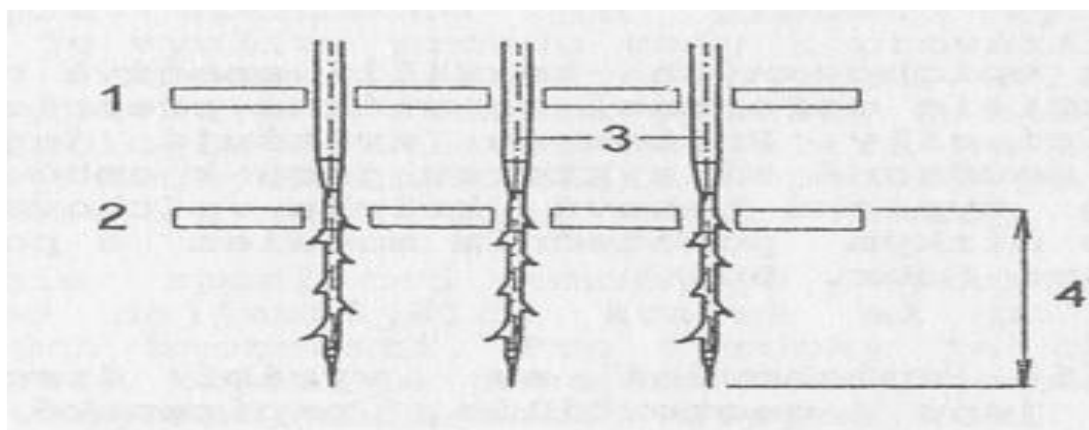
p - počet průchodů textilie strojem

v - rychlost odvádění textilie m/s

V literatuře se uvádějí i jiné vztahy beroucí v úvahu délkové i šířkové změny textilie v průběhu vpichování. Běžně se vyrábějí textilie zpevněné 8 000 až 55 000 vpichy na 1 čtverečný metr plochy.

Hloubka vpichu

Je to vzdálenost špiček jehel od pracovní plochy opěrného roštu v dolní úvrati pohybu jehel (viz kóta 4 na Obr. 16). Hloubka vpichu se udává v milimetrech v rozmezí 5 – 25mm”.



Obrázek 16: Schematické znázornění hloubky vpichu

1 - stírací rošt, 2 - opěrný rošt, 3 – vpichovací jehla, 4 - hloubka vpichu

3. Experimentální část

V praktické části bude zjišťována odolnost textilií vůči protržení padajícím kuželem při různých dopadových energiích a rychlostech. Získané výsledky budou porovnány s testem protržení kuželem při statickém působení. Výsledky budou diskutovány. Oba testy byly navrženy zvlášť pro tento experiment, jehož cílem je sledovat vliv rychlosti deformace na výslednou sílu i způsob poškození. První z testů má oporu v normě, je však doplněn o snímání síly pomocí tenzometrického snímače. Druhý test byl realizován podle vlastního návrhu a je kombinací testu protržení padajícím kuželem a CBR testu. Pochopení dějů při zatěžování textilií je důležitou informací, které může přinést zvýšení únosnosti textilie zajištěním odpovídajících parametrů textilie, které respektují mechanismus deformace.

3.1 Odolnost vůči proražení, zkouška padajícím kuželem

„Tato norma platí pro zjišťování odolnosti netkaných textilií vůči proražení padajícím kuželem. Pro netkané textilie je určena tato metoda, která se používá pro stavební konstrukce.

3.1.1.1 Pojmy a definice

Odolnost vůči proražení je schopnost textilie odolávat porušení po dopadu kužele na netkanou textilií. Vyjadřuje se průměrem proraženého otvoru v mm.

3.1.1.2 Podstata zkoušky

Při normou stanovených podmínkách se zjišťuje velikost otvoru vytvořeného pádem standardního mosazného kužele na netkanou textilií položenou na vodní hladině.

Poznámka: Zkušební uspořádání napodobuje běžnou situaci uložení textilie, kdy se na textilií položenou na neúnosném podloží saturovaném vodou sypou horniny, zeminy, kamenivo nebo stavební směsi, které mohou proniknout textilií a tak ji poškodit. Pomocí popsaného zkušebního postupu lze posuzovat schopnost textilie odolávat náhlému nárazu.

3.1.1.3 Zkušební zařízení a pomůcky

Ke zkoušce se použije:

a) nádoba na vodu – přibližně na 3,5 litru a minimální hloubce 200 mm. Voda musí dosahovat těsně k textilií upnuté v čelistech.

b) zkušební rám – nese zkušební kužel a jeho držák nad upnutým vzorkem v základní poloze. Vzdálenost mezi špičkou kužele v základní poloze a horním povrchem textilie musí být $(500 \pm 0,5)$ mm (obr. 2).

c) upínací čelisti – dvě kovové čelisti, které se spínají, sešroubovávají nebo přitlačují k sobě (mechanicky, pneumaticky, hydraulicky), při stejnoměrně rozloženém napětí. Drážky čelistí do sebe musejí zapadat. Průměr čelistí je na vnitřní straně 152,4 mm a na vnější straně 182,4 mm. Čelisti se připevňují se vzorkem k nádobě s vodou.

d) upínací šablona – zajišťuje upnutí vzorku bez záhybů se stejnoměrným napětím. Materiál šablony musí být rozměrově stálý.

e) zkušební kužel – mosazný kužel a jeho držák musí mít dohromady hmotnost $(1000g \pm 1)$ g. Čelní strana kužele má úhel zašpičatění 45° a vybíhá do maximálního průměru $(50 \pm 0,1)$ mm. Pro zajištění přímého, svislého pádu musí být těžiště u špičky kužele, což je zajištěno jádrem plněným olovem.

f) měřicí kužel – slouží k měření průměru otvoru vytvořeného ve vzorku textilie nárazem zkušební kužele. Hmotnost měřicího kužele je (1000 ± 1) g a úhel zašpičatění je $14^\circ 15'$. Materiál kužele musí být stálý z hlediska jeho rozměrů a hmotnosti. Zúžující se stěna kužele musí být opatřena dílkou po 2 mm od špičky až do průměru 50 mm.

g) raznice – kruhová raznice pro vysekávání vzorků o průměru 194 mm.

3.1.1.4 Zkušební vzorky a jejich příprava

Odběr jednotlivých vzorků se provádí podle ČSN 80 0072. Jednotlivý vzorek se odebere po celé šířce plošné textilie, jeho velikost je nejméně 10 m^2 .

Z jednotlivého vzorku se připraví 10 elementárních vzorků nejméně o průměru 194 mm. Elementární vzorky se vysekávají raznicí nebo vyřezávají. Během přípravy nesmí dojít k jejich deformaci nebo narušení struktury. Klimatizace vzorků není nutná.

3.1.1.5 Postup zkoušky

Do spodní upínací čelisti se vloží upínací šablona a na ni položí elementární vzorek. Horní čelist se spojí se spodní tak, aby na elementární vzorek působilo přes drážkování kroužků stejnoměrné napětí. Během zkoušky není přípustné jakékoliv prokluzování vzorku v čelistech.

Po vyjmutí upínací šablony se upínací čelisti se vzorkem připevní k nádobě s vodou, do které se přilévá voda tak dlouho, až se její hladina dotýká textilie. Přebytková voda, která by se

dostala na horní povrch textilie, se musí setřít houbou. Uzavře se ventil používaný pro nastavení hladiny vody. Zkušební kužel se připevní za držák ke zkušebnímu rámu (např. mechanicky, magneticky apod.) do výchozí polohy a zkontroluje se požadovaná vzdálenost 500 mm mezi špičkou kužele a horní stranou textilie. Uvolní se spoušť držící kužel a tento se nechá spadnout na textili. Zkušební kužel se vyjme, odpustí se voda, upínací čelisti se vzorkem se odstraní z nádoby s vodou a za použití stupnice na měřicím kuželu se změří průměr vytvořeného otvoru.

3.1.1.6 Vyhodnocení zkoušky

Zjišťuje se velikost otvoru d_k v mm, který vznikl při dopadu zkušební kužele na textili. Vypočítává se průměrná velikost otvoru a směrodatná odchylka podle ČSN 01 0250 u všech deseti provedených zkoušek s přesností na 1 desetinné místo.

3.1.1.7 Zápis o zkoušce

Do zápisu o zkoušce se uvede:

- Označení vzorku
- Výsledky jednotlivých měření
- Aritmetický průměr, směrodatná odchylka
- Číslo této normy a případné odchylky od stanoveného postupu
- Datum zkoušky a podpisy pracovníků odpovědných za provedení zkoušky”.

3.2 Navržení konstrukce padostroje

Pro realizace testu padajícím kuželem bylo nutné navrhnout konstrukci padostroje a tento návrh následně realizovat. Výchozími informacemi je podrobně popsána norma v předchozí kapitole. Konstrukce však bude upravena pro zajištění měnitelné výšky pádu. Nejprve byl vytvořen návrh konstrukce, který je ukázán na obr. 11.



Obrázek 17: Padostroj

Skica znázorňuje padostroj navrhovaný z I-tekm profilů, kde nejdelší profil slouží jako hlavní nosná konstrukce padostroje. Dva vetknuté nosníky, mezi kterými je rozpěra z důvodu větší pevnosti a odolnosti při průchodu vodící tyče, mají vyfrézované otvory pro ložiska, kterými prochází vodící tyč. Na jedné straně vodící tyče je připevněn šroubovým spojem normovaný kužel.

3.2.1 Výběr materiálu pro konstrukci rámu padostroje

Bylo nutné vybrat vhodný materiál, ze kterého bude konstrukce vytvořena. Nabízí se mnoho variant ať z pohledu samotného materiálu (slitiny kovů, kompozity), tak i geometrie prvků (pásovina, profily uzavřené či otevřené...). V neposlední řadě je důležitá volba spojení jednotlivých částí konstrukce. Aplikovat lze spoje šroubované, nýtované nebo svařované. Po zvážení dostupných technologií v rámci TUL a vlastních znalostí, byl zvolen jako nejvhodnější materiál profil z hliníkové slitiny.

Pomocí těchto profilů byla sestavena konstrukce padostroje. Díky variabilitě jednotlivých profilů a způsobů spojení různé konstrukce. Tyto profily jsou vytvořeny ze slitiny hliníku. Jejich pevnost a přesnost umožňuje širokou škálu sestavení a zatížení [7].

Pro tento experiment je dostačující profil 45x45mm, který slouží jako hlavní nosná konstrukce padostroje.



Obrázek 18: Znáznorňuje Item profily

[7]

3.2.2 Lineární kuličkové ložisko

Vodící tyč bude umístěna do ložisek, která zajistí minimální ztráty při pohybu tyče. Použitá ložiska jsou určena pro axiální namáhání, což je v tomto případě. Ložisková klec je tvořena z polyamidu. Ložisko je kuličkové, valivé elementy (kuličky), jsou vytvořeny z třídy oceli 15. Tato třída oceli je vysoce ořeru vzdorná. Klec ložiska slouží k zajištění a umístění jednotlivých valivých elementů a zároveň k jejich volnému pohybu. Typ tohoto ložiska nemá vnitřní pánev, ale pouze vnější, která má přesný rozměr pro přesné uložení. Vybrán byl typ ložiska KH 1630 PP.



Obrázek 19: Znázorňuje lineární kuličkové ložisko s polyamidovou klecí.

[12]

3.2.3 Vodící tyč

Normovaný kužel bude upevněn na tyči, která zajistí svislý pohyb kužele. Byla vybrána kruhová ocel tažená, třídy oceli 11 373. Dostačující rozměr této oceli je 16 mm průměr a délka 1800 mm. Na jedné straně této tyče bude vytvořen metrický závit M 12 o délce závitu 15 mm. Tato zvolená ocel je vhodná z důvodu upraveného povrchu pro snadný a plynulý průchod ložisky.



Obrázek 20: Znázorňuje ocel taženou kruhovou.

[11]

3.2.4 Tenzometr

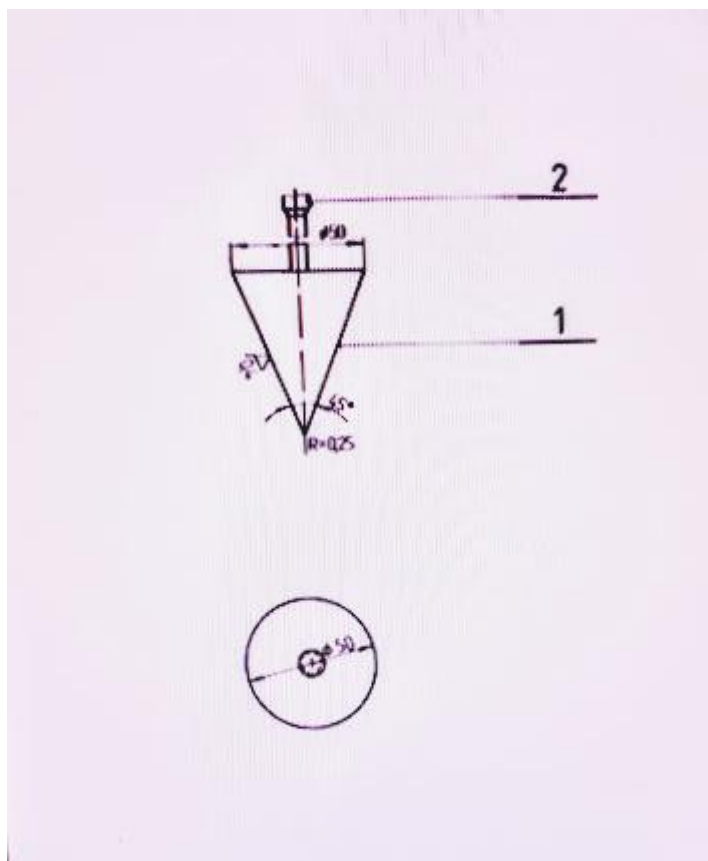
Je zařízení pro měření síly v tahu a tlaku. Rozsah měřících sil tenzometru, který byl použit pro experiment, je 0 – 7500 N. Tenzometr je vyroben z nerezové oceli. Analogový signál je přenášen kabelem do snímacího zařízení [10]. Podrobnosti o snímači lze nalézt v příloze 1.



Obrázek 21: Tenzometr

3.2.5 Normovaný kužel

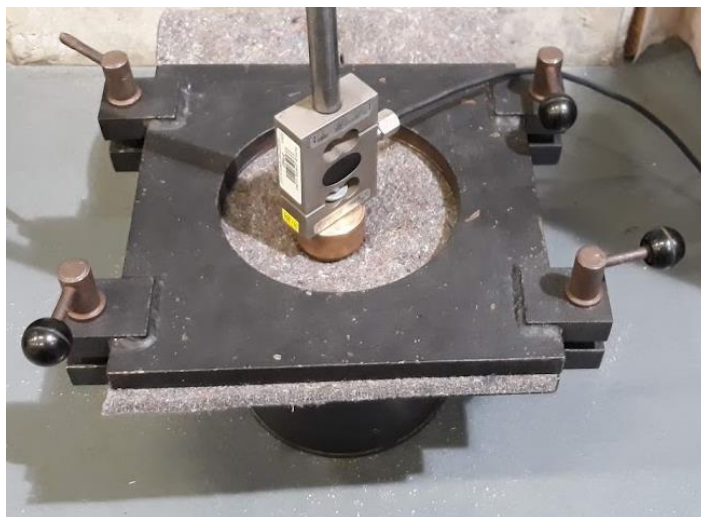
Geometrie kuželu je dána normou. Slouží k průrazu textilie vlivem kinetické energie vzniklé dopadem na povrch textilie. Hmotnost normovaného kužele je 0,5 kg. Střed kužele na odvrácené straně hrotu, je opatřen metrickým závitem M 10. Aby bylo možno jej připojit k tenzometrickému snímači, bylo nutno vyrobit redukci ze závitu M10 na M12. Maximální průměr normovaného kužele je 50 mm. Úhel, který svírá špice kužele má 45°.



Obrázek 22: Normovaný kužel.

3.2.6 Kruhové čelisti

Čelisti jsou ocelové a tvořeny ze dvou částí. Obě tyto části mají z jedné strany drážkování, které se kompletuje tak, aby do sebe čelisti vzájemně zapadaly. Je to z důvodu zamezení prokluzu textilie mezi čelistmi. Spodní čelist je opatřena šrouby (v každém rohu) a vrchní čelist otvory, kterými tyto šrouby prochází. Středem obou čelistí jsou otvory, určené pro průchod normovaného kužele textilií. Vrchní čelist je nutné rovnoměrně utahovat maticemi nejlépe do tzv. „kříže“, aby byla textilie rovnoměrně napnutá v celém otvoru čelistí a nemohlo tak dojít k prokluzu při dopadu kužele na textilii. Čelisti byly umístěny na nádobu, ve které je plastelína, která slouží k utlumení rázu v případě, že by kužel prošel celým průměrem skrz textilii. V opačném případě by dopadl na dno nádoby s extrémním zpomalením, které by pravděpodobně způsobilo překročení rozsahu tenzometrického snímače a jeho zničení.



Obrázek 23: Kruhové čelisti posazené na nádobě s upnutou textilií při průchodu normovaného kužele.



Obrázek 24: Kruhové čelisti

3.2.7 Realizace padostroje

Padostroj byl vytvořen dle návrhu ukázaném v obr. 11 ze součástí popsanych výše. Nejprve bylo nutné vyfrézovat do vetknutých nosníků otvory o průměru 24 mm a hloubce otvoru 26 mm. Průměr a hloubka byla takto zvolena podle rozměrů ložisek, aby vnější pánev ložiska měla oporu uvnitř profilu. Dále profilem pokračuje otvor světlosti 17 mm pro plynulý průchod vodící tyče, o průměru 16 mm. Do takto přesně vytvořených otvorů byla nalisována lineární kuličková

ložiska. Frézování otvorů pro ložiska bylo realizováno na CNC fréze na pracovišti laboratoří CXI.



Obrázek 25: Frézování otvoru na pracovišti laboratoří CXI

Po vyfrézování otvorů a vyjmutí profilů z čelistí, proběhlo očištění od chladicí emulze a vzniklých třísek při obrábění. Následujícím nezbytným krokem byla kontrola rozměrů vyfrézovaných otvorů. Poté byla nalisována ložiska.



Obrázek 20, 21: Očištěný, vyfrézovaný a zkontrolovaný profil s nalisovaným ložiskem



Obrázek 26: Uložení lineárního kuličkového ložiska s ocelí taženou kruhovou ve vetknutém nosníku.

Mezi vetknutými nosníky je umístěn paralelně se svislým nosníkem profil, sloužící ke stabilitě a zpevnění celé konstrukce. Konstrukci padostroje byla vytvořena svépomocí z Item profilů, dvou lineárních kuličkových ložisek a ocele tažené kruhové s normovaným kuželem a tenzometrem. Profily byly nařezány a zafrézovány na přesný rozměr. Realizace je zřejmá z obr. 23. Poloha je zajištěna stahovacím popruhem. Zařízení je tedy přenosné a upevnitelné ke vhodné konstrukci.



Obrázek 27: Kompletní padostroj s měřícím zařízením

3.2.8 Univerzální zkušební stroj

Pro statické provedení zkoušky byl použit přístroj Labortech 2.050. Pro stanovení síly byl použit jiný tenzometrický snímač jako pro zkoušku padajícím kuželem. Řízení a ovládání stroje stejně jako sběr dat je realizován pomocí programu Labtest v3.0.

3.2.9 Tloušťkoměr

Laboratorní přístroj na měření tloušťky materiálů, v tomto případě dvou různých netkaných textilií odlišných tlouštěk. Před samotným měřením je důležité zkontrolovat, zda je celý přístroj v rovině. Pokud není, je důležité přístroj vyrovnat pomocí dvou stavitelných koleček v přední části přístroje. Je-li přístroj seřízen do rovnovážné polohy, je možné začít měřit. Měřený materiál se položí na spodní kruhový talíř a pomocí pohybových šroubů se nastaví taková vzdálenost, aby čelist zatěžovala vzorek předepsaným tlakem. Přesné označení přístroje není zřejmé, výrobcem je VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig. Tloušťku materiálu ukazuje ručička na číselníku. Zařízení odpovídá požadavkům normy EDANA ERT 30.4-89, kdy je tloušťka vzorků o ploše nejméně 2500 mm² měřena při přítlaku 0,5 kPa po uplynutí doby po zatížení 10 s.



Obrázek 28: Tloušťkoměr

3.3 Použité materiály

Textilie byly získány, přičemž nebyly známy jejich parametry. Vzhledem k tomu byla provedena alespoň základní analýza složení a fyzikálních parametrů.

3.3.1 Vzorek č. 1

Textilie je vyrobena z polyesteru o jemnosti 6,7 dtex a délkou staplu 65 mm, Netkaná textilie byla vyrobena technologií vpichování a povrch byl upravena hladkým kalandrem za studena.

Tabulka č. 1 udává, počet měření pomocí tloušťkoměru a naměřené hodnoty, které byly zprůměrovány a znázorněny v tabulce č. 1. Textilie byla měřena pomocí tloušťkoměru, měření vychází z normy Edana ERT 30.4-89. Celkem bylo provedeno pět měření.

Tabulka č. 2 obsahuje základní parametry vzorku: plošnou hmotnost, tloušťku, objemovou hmotnost a zaplnění, které byly získány měřením a výpočty.

Plošná hmotnost textilie [g.m ⁻²]	320 +- 3,7
Tloušťka [mm]	2,35 +-0,11
Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	136,4+-5,6
Zaplnění	0,101

Tabulka 1: Základní zjištěné údaje o vzorku č. 1

3.3.2 Vzorek č. 2

Vzhledem k tomu, že jednalo o směs obsahující recyklát, byla množství jednotlivých komponent určena jen přibližně. Směs obsahuje 60 % PL 6,7 dtex o délce stříže 60 mm, 25% PP 2,9 dtex o hustotě 920 kg/m³, o délce stříže 45 mm. Zbytek je tvořen recyklátem z bavlny, kenafu, vlny a syntetických vláken různých délek (3 – 25 mm). Vzhledem k neznámému množství všech komponent není určeno zaplnění. Recyklát je vyroben mykáním a následně zpevněn vpichováním. Tabulka č. 3 udává, počet měření pomocí tloušťkoměru a naměřené hodnoty, které byly zprůměrovány a znázorněny v tabulce č. 3. Textilie byla měřena pomocí tloušťkoměru, měření vychází z normy Edana ERT 30.4-89. Tabulka č. 4 obsahuje základní parametry vzorku: plošnou hmotnost, tloušťku, objemovou hmotnost a zaplnění, které byly získány měřením a výpočty.

Plošná hmotnost textilie [g/m ⁻²]	1550,7+-110,2
Tloušťka [mm]	7,6+-0,32
Objemová hmotnost [kg/m ⁻³]	203,95+-12,6
Zaplnění	-

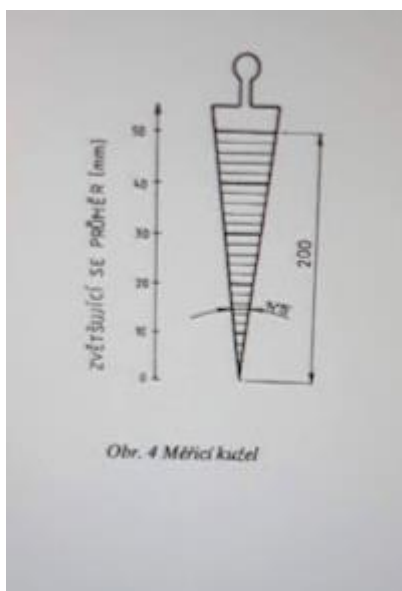
Tabulka 2: Základní zjištěné údaje o vzorku č. 2

4. Postup měření

Je část experimentu, kde dochází ke sběru všech naměřených dat, buď elektronicky, mechanicky, nebo vizuálně. Naměřená data jsou později vyhodnocována pro zjištění pozitivních, či negativních výsledků. Pro tuto práci byl použito měřicí zařízení Dewetron, tloušťkoměr a měřicí kužel.

4.1 Měřicí kužel

Slouží k měření průměru vytvořeného normovaným kuželem a je opatřen stupnicí 0 až 5. Tato stupnice udává velikost otvoru v textilií v mm. Měřicí kužel se zasune do otvoru a v místě kde již není dále možno měřicí kužel vsunout hlouběji, (protože by mohlo dojít k deformaci vlastní silou a tím k nepřesnému měření) lze zaznamenat vizuálně hodnotu na měřícím kuželu.



Obrázek 29: Výkres měřicího kužele



Obrázek 30: Měřicí kužel

4.2 Způsob sběru dat

Původním návrhem bylo využít pro záznam dat vývojový obvod Arduino avšak bylo zjištěno, že výstupní signál z tenzometru je příliš nízký a nelze jej vhodně zpracovat. Řešením by bylo použít předzesilovač, který by však bylo nutno zkonstruovat, nebo zakoupit. Využití AD převodníku (např. HX711), který v sobě obsahuje i zesilovač, taktéž nelze použít, neboť vzorkovací frekvence je nejvýše 80 Hz, což je pro rychlé děje nedostačující. Dále bylo experimentováno s připojením tenzometru k osciloskopu s obdobným výsledkem – rozsah spodní hranice rozsahu měřidla nebyla dostatečně nízká a bylo by nutno opět použít zesilovač



Obrázek 31: Měřicí zařízení Dewetron

signálu. Proto bylo rozhodnuto využít měřicího zařízení Dewetron, které se nachází na pracovišti laboratoří CXI. Po konzultacích byl připraven propojovací konektor mezi tenzometrický snímač a ústřednu.

4.3 Kalibrace

Každý snímač, pokud má poskytovat věrohodné údaje, musí být před použitím zkalibrován. K tomu byla použita kalibrovací stolice, která je opatřena cejchovaným měřičem síly. Tím se přesně určí charakteristiky snímače, jako je strmost a linearita. Takto získané údaje jsou poté uloženy do softwaru DeweSoft a snímač je tak připraven k použití.

4.4 Snímané veličiny

Padostroj není opatřen snímačem polohy, jediný signál, který poskytuje je hodnota síly působící na snímač. Při měření je tedy určena pouze síla v závislosti na čase.

4.5 Hypotéza

Nejprve bude provedeno měření odolnosti textilie proti protržení padajícím kuželem. Oproti normované metodě nebude použito pouze jediné výšky, ze které kužel padá, ale bude použita řada výšek, které jsou násobkem energie normované. Cílem je získat odlišné dopadové rychlosti působící na materiál při jeho namáhání. Dále oproti původní zkoušce budou výsledky doplněny o maximální hodnotu síly, která při dopadu tělesa vznikne. Takto získané síly budou využity pro statické protržení kuželem, kdy bude zjišťována energie nutná k dosažení těchto sil. Tím budou získány energie pro zkoušku provedenou staticky a dynamicky, které je možno porovnat. Na jejich základě usuzovat zda rychlost má při působící deformaci vliv či nemá. Výchozí energie je taková, která je získána při standardním provedení zkoušky padajícím kuželem a vychází se ze vztahu pro výpočet potenciální energie

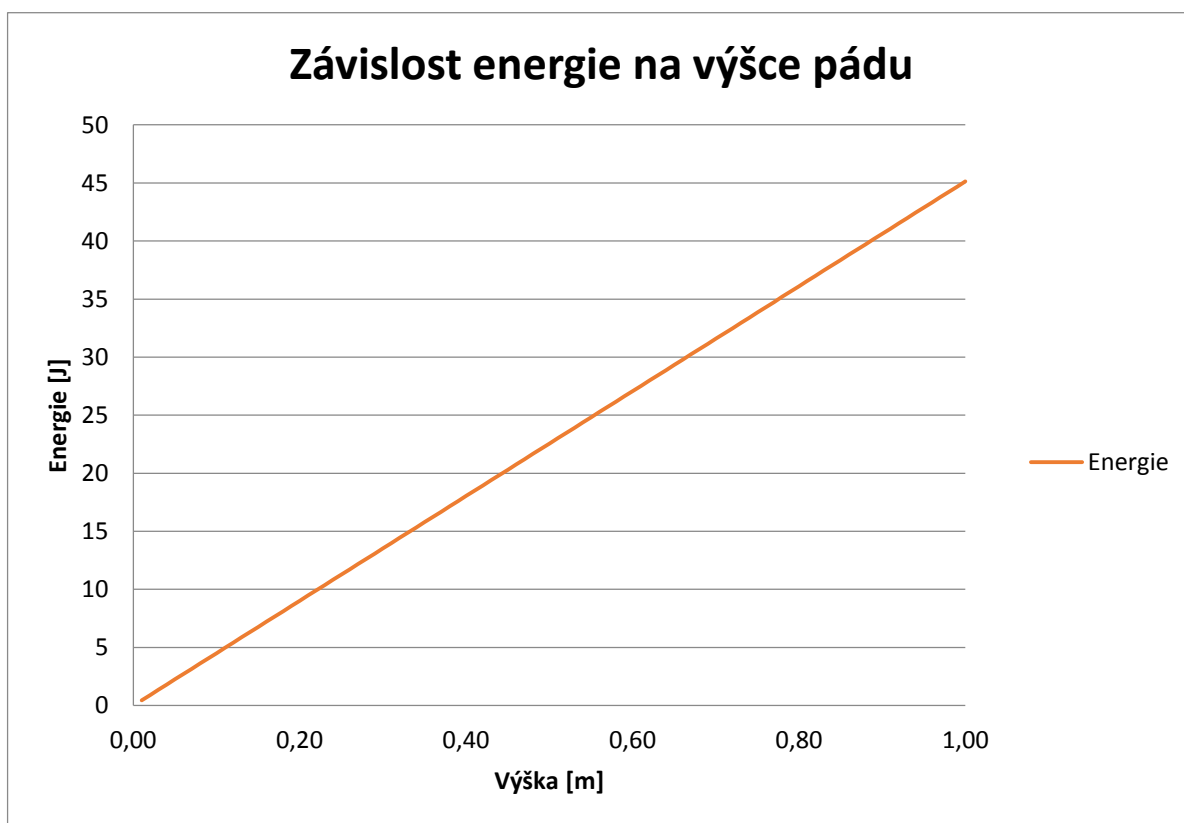
$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad [\text{J}] \quad (1),$$

kde norma určuje hmotnost kužele 1 kg a výšku 0,5 m. Toto bude základní hodnota nastavena z výšky, ze které bude kužel padat, která se bude postupně zvyšovat a ke které bude postupně přičítána tatáž hodnota. Energie a tedy i výška bude celočíselným násobkem této základní hodnoty. Vzhledem k tomu, že realizované zařízení je doplněno o tenzometrický snímač a vodící tyč, bude celková hmotnost celé sestavy vyšší. Hodnoty energií a příslušných výšek pádu jsou určeny dle (3) pro tuto hmotnost (4,6 kg) a ukázány v tab. 3.

Potenciální energie E_p [J]	2,45	4,91	7,36	9,81	12,26	14,72	17,17	19,62	22,07	24,53
Odpovídající výška h [m]	0,05	0,11	0,16	0,22	0,27	0,33	0,38	0,43	0,49	0,54

Tabulka 3: Závislost potenciální energie a výšky pádu

Průběh energie v závislosti na výšce pádu pro navržený padostroj o dané hmotnost padajícího tělesa, sestávajícího se ze samotného kuželu, vodící tyče, tenzometru a použitého spojovacího materiálu je pro rozsah výšky 0 – 1 metr ukázán na obrázku 32. Navržený padostroj je tak schopen vyvinout energii přesahující 44 J.



Obrázek 32: Závislost energie pro danou hmotnost padajícího tělesa na výšce pádu.

Vzhledem k tomu, že při zjišťování energií lze vycházet z rovnosti potenciální a kinetické energie, lze určit také průběh rychlosti při dopadu tělesa. Samozřejmě při zanedbání ztrát třením o vzduch a ve vedení tyče vlivem tření tělísek ložiska. Vychází se tedy z rovnosti

$$E_p = E_k \quad (2)$$

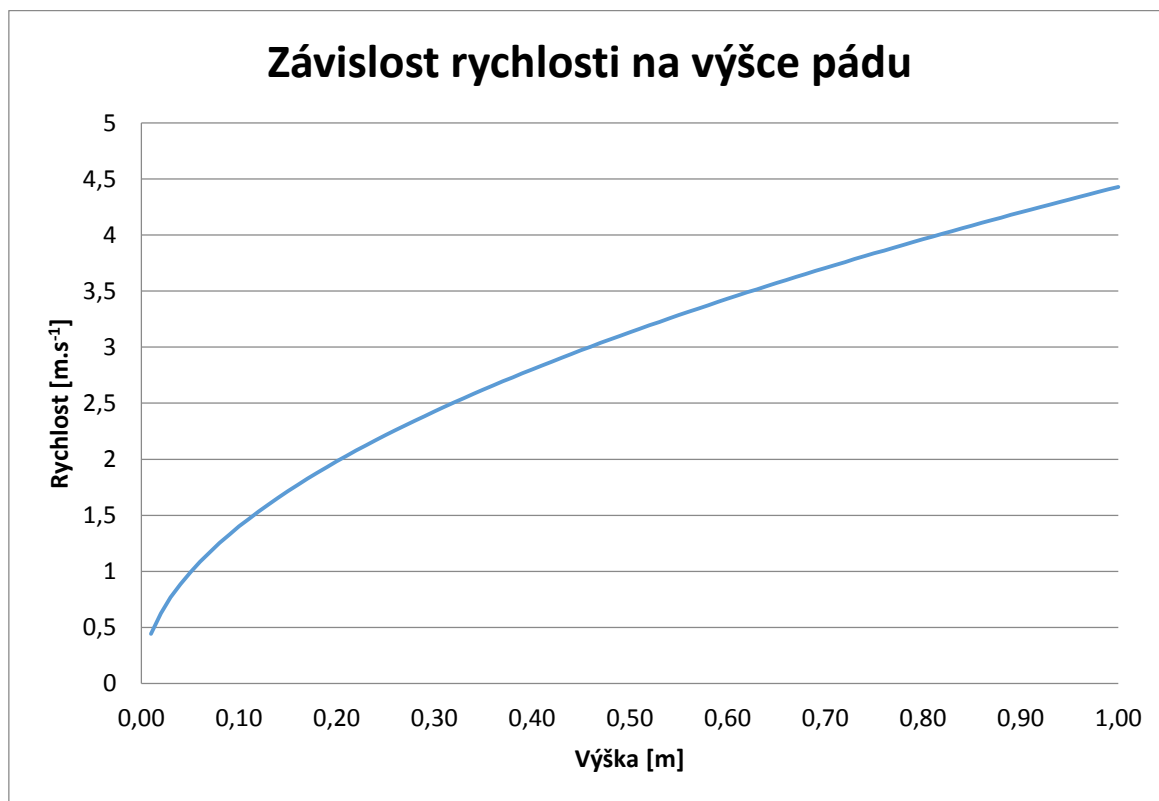
tedy

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (3)$$

Z toho lze určit, že rychlost je

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

Průběh rychlosti je ukázán v obr. 28. Je zřejmé, že průběh není lineární.



Obrázek 33: Závislost rychlosti pro danou hmotnost padajícího tělesa na výšce pádu.

Lze tedy uvažovat, že průběhy naměřených hodnot síly při dynamickém namáhání mohou být dvojího druhu a to:

- lineární, kde hodnota síly bude odpovídat lineárnímu průběhu dopadové energie, nebo

- nelineární, kdy bude hodnota síly záviset na hodnotě dopadové rychlosti, resp. rychlosti deformace materiálu.

Zároveň se stanovením hodnoty maximální síly, bude zjišťován také průměr otvoru, který po dopadu kužele v textilií vznikne. Při porovnání staticky a dynamicky provedené zkoušky, může opět nastat dvojitý druh výsledku a to, že staticky a dynamicky provedená zkouška při shodné síle, bude poskytovat shodnou energii. Pak lze konstatovat, že při daných rychlostech dopadu, jsou deformační vlastnosti textilie nezávislé na rychlosti deformace. Nebo nastane situace, kdy výsledky energií budou odlišné, pak jsou vlastnosti textilie závislé na hodnotě rychlosti deformace. Spolu s výše uvedeným budou také porovnány velikosti otvorů způsobených dopadem kuželu při statické a dynamické zkoušce.

5. Výsledky

Tato kapitola shrnuje dosažené výsledky, které jsou stručně popsány.

5.1 Dynamické namáhání

Zkouškou protržení padajícím kuželem byly získány hodnoty sil a průměrů otvorů vzniklých při dopadu kužele z postupně se zvyšující výšky. Měření síly bylo provedeno pomocí měřicí ústředny Dewetron a průměr otvoru byl zjišťován po každém pádu a určen měřicím kuželem (viz kap. 4.1). Při tom je nutné vyjmout kruhové čelisti i se vzorkem, který je mezi nimi sevřen. Následuje zasunutí měřicího kužele do otvoru a provedení měření. Pokud by došlo nejprve k vyjmutí textile z čelistí a následnému měření, mohly by být naměřené hodnoty zkresleny.

Vzorek č. 1

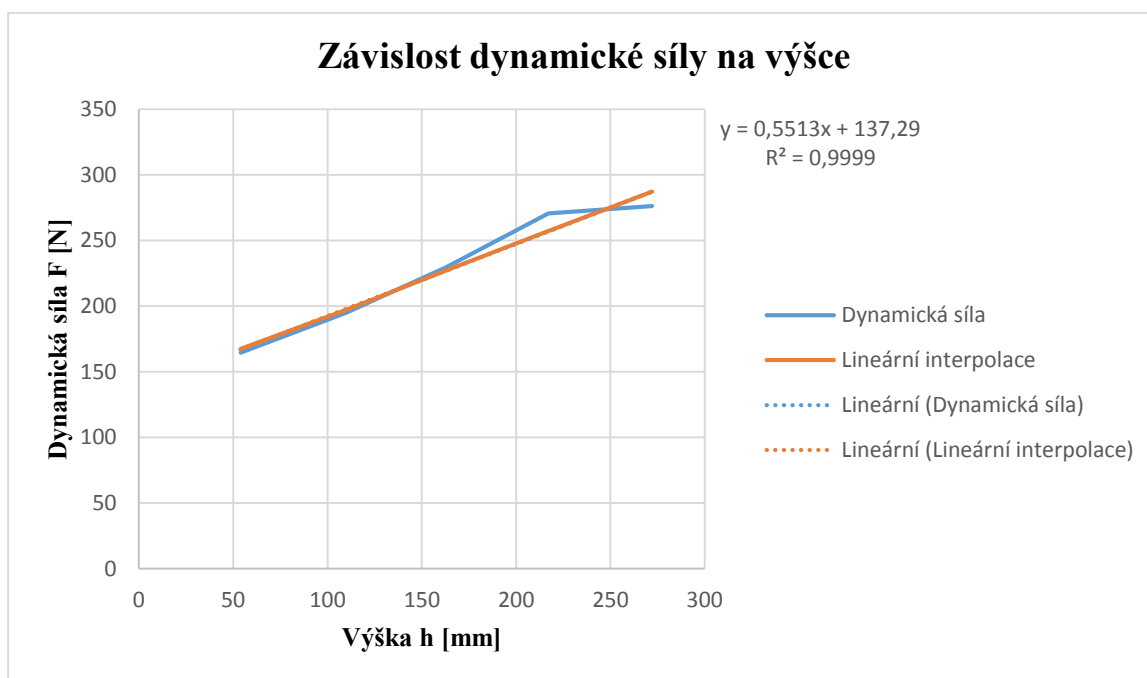
Stanovení dynamické síly

Tabulka č. 4 ukazuje výšky, ze kterých byl spouštěn normovaný kužel a k nim příslušející dynamickou sílu. Vzhledem k tomu, že průběh síly má přibližně lineární průběh, lze jednotlivé body aproximovat přímkou, jejíž rovnice je uvedena v grafu na obr. 29 a ve vztahu (5). Do ní jsou dosazeny hodnoty výšky a získány hodnoty dynamické síly, které budou využity pro provedení statické zkoušky. Hodnoty plynoucí z lineární interpolace jsou taktéž uvedeny v tab. 4.

Výška h [mm]	54	110	163	217	272
Dynamická síla F [N]	164,5+-7,4	195,1+-8,6	229,7+-9,1	270,6+-12,3	276,4+-16,5
Lineární interpolace síly F_{lin} [N]	167,39	197,33	227,27	257,21	287,15

Tabulka 4: Hodnoty dynamické síly a jejich lineární interpolace v závislosti na výšce vzorku č. 1

Z grafu na obrázku 28 je zřejmé, že dynamická síla roste v závislosti na výšce a to téměř lineárně, o čemž svědčí i koeficient regrese R .



Obrázek 34: Závislost dynamické síly na výšce

$$F = 550,36h + 137,56 \quad (5)$$

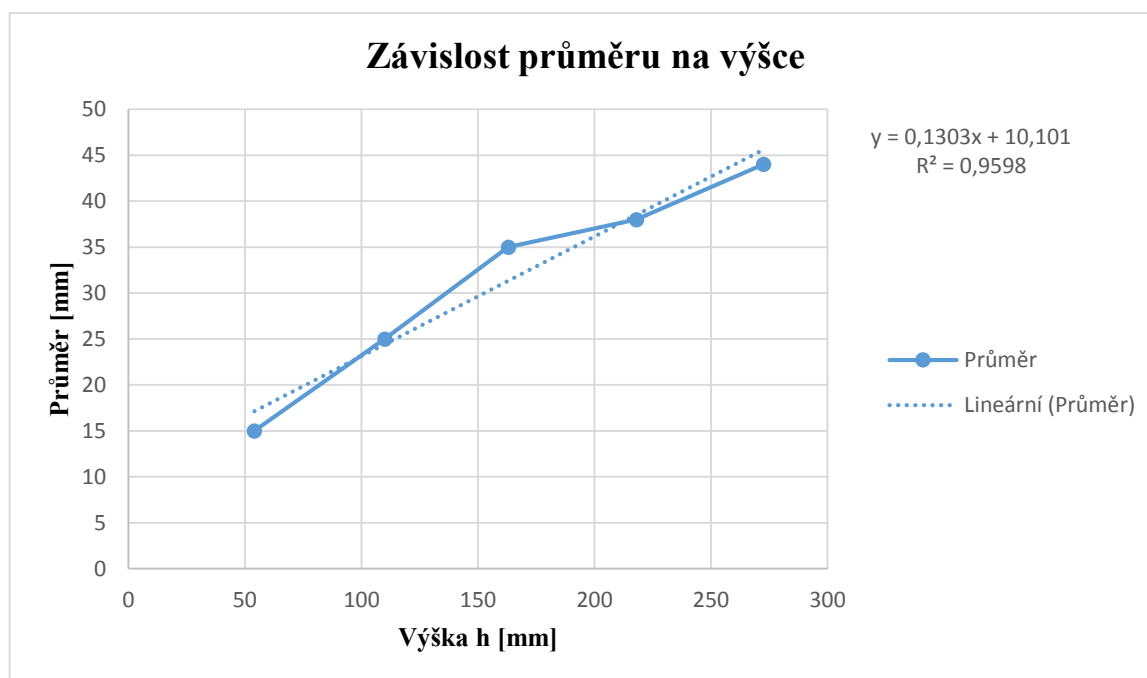
Stanovení velikosti otvoru

Tabulka č. 5 popisuje závislost vytvořeného průměru otvoru v textilií na výšce, ze které byl spuštěn normovaný kužel. Se vzrůstající výškou vzrůstají i hodnoty průměru. Hodnoty průměru otvorů byly získány pomocí měřicího kužele. Veškeré hodnoty v tabulce 5 jsou uvedeny v milimetrech.

Výška h [mm]	Otvor Ø [mm]
54	15
110	25
163	35
217	38
272	44

Tabulka 5: Závislost velikosti průměru otvoru na výšce pádu

Z obrázku 29 je patrné, že se vzrůstající výškou roste průměr vytvořeného otvoru v textilií. Po dosazení hodnot z tabulky 5 vznikne závislost, jejíž průběh je opět lineární.



Obrázek 35: Závislost průměru na výšce

$$\varnothing D = 0,1303h + 10,101 \quad (6)$$

Vzorek č. 2

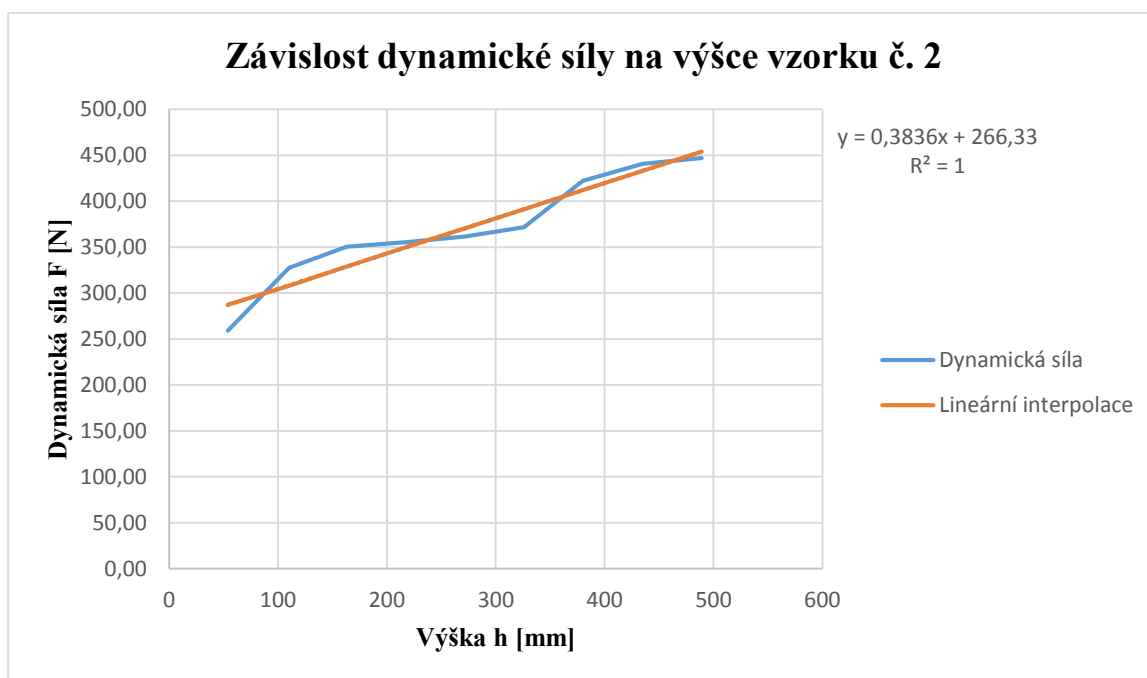
Stanovení dynamické síly

Tabulka č. 6 ukazuje dynamickou sílu vzniklou pádem kužele na vzorek č. 2 a její lineární interpolaci v závislosti na výšce pádu. Po dosazení znázorněných výšek do rovnice (6) vznikly hodnoty lineárně závislé.

Výška h [mm]	54	109	163	217	272	326	380	435	489
Dynamická síla F [N]	259,3 +-23,1	327,4 +-24,6	350,49 +-19,2	355,22 +-22,3	361,61 +-18,9	371,52 +-25,6	422,3 +-27,3	440,63 +-30,8	446,79 +-32
Lineární interpolace síly F_{lin} [N]	287,27	308,1	328,92	349,75	370,58	412,23	433,06	453,89	391,37

Tabulka 6: Hodnoty dynamické síly a jejich lineární interpolace v závislosti na výšce vzorku č. 2

Obrázek 30 ukazuje hodnoty dynamické síly doplněné o lineární interpolaci. Vysoký koeficient opět ukazuje na potvrzení lineárního trendu.



Obrázek 36: Závislost dynamické síly na výšce

$$F = 383,22h + 266,44 \quad (7)$$

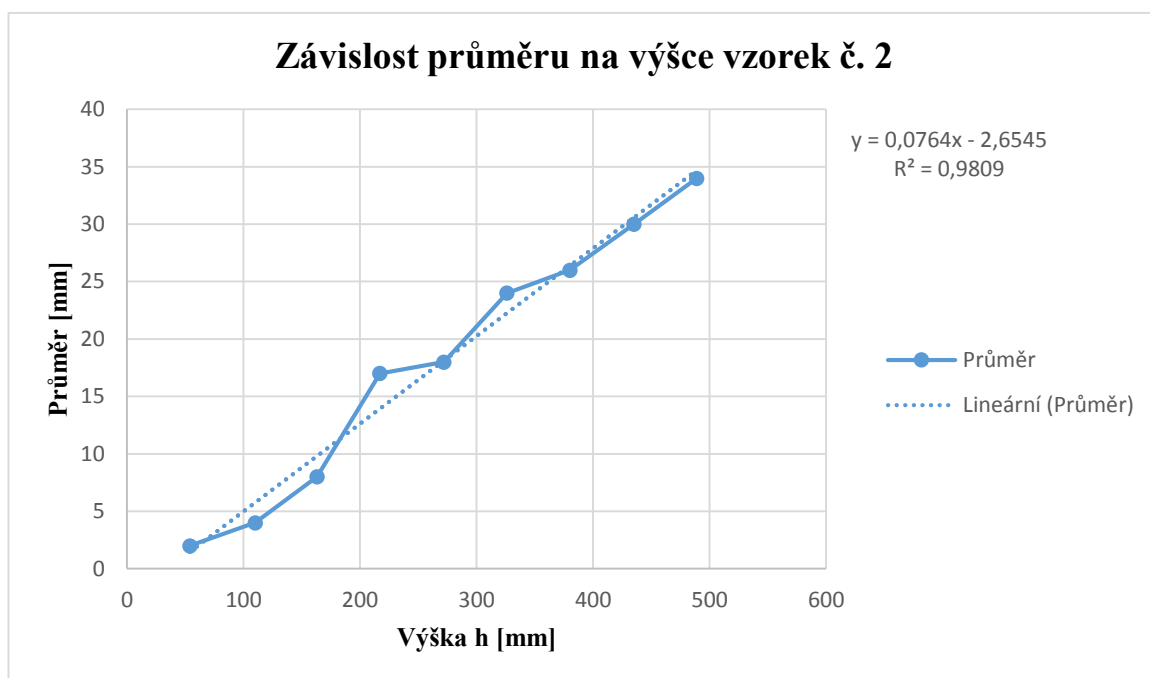
Stanovení velikosti otvoru

Tabulka č. 7 popisuje závislost vytvořeného průměru otvoru v textilií na výšce, ze které byl spuštěn normovaný kužel. Se vzrůstající výškou vzrůstají i hodnoty průměru. Hodnoty průměru byly naměřeny a získány pomocí měřicího kužele. Data znázorněná v níže uvedené tabulce jsou dosazena v milimetrech.

Výška h [mm]	Otvor \varnothing [mm]
54	2
110	4
163	8
217	17
272	18
326	24
380	26
435	30
489	34

Tabulka 7: Závislost velikosti průměru otvoru na výšce.

Obrázek 31 ukazuje hodnoty průměru vytvořeného normovaným kuželem a má stoupající trend s lineárním charakterem. Lineární interpolace této funkce byla zjištěna z rovnice (7) kde bylo nutné pro zjištění této závislosti dosadit výšku. Je tedy zřejmé, že funkce průměru otvoru je lineárně rostoucí.



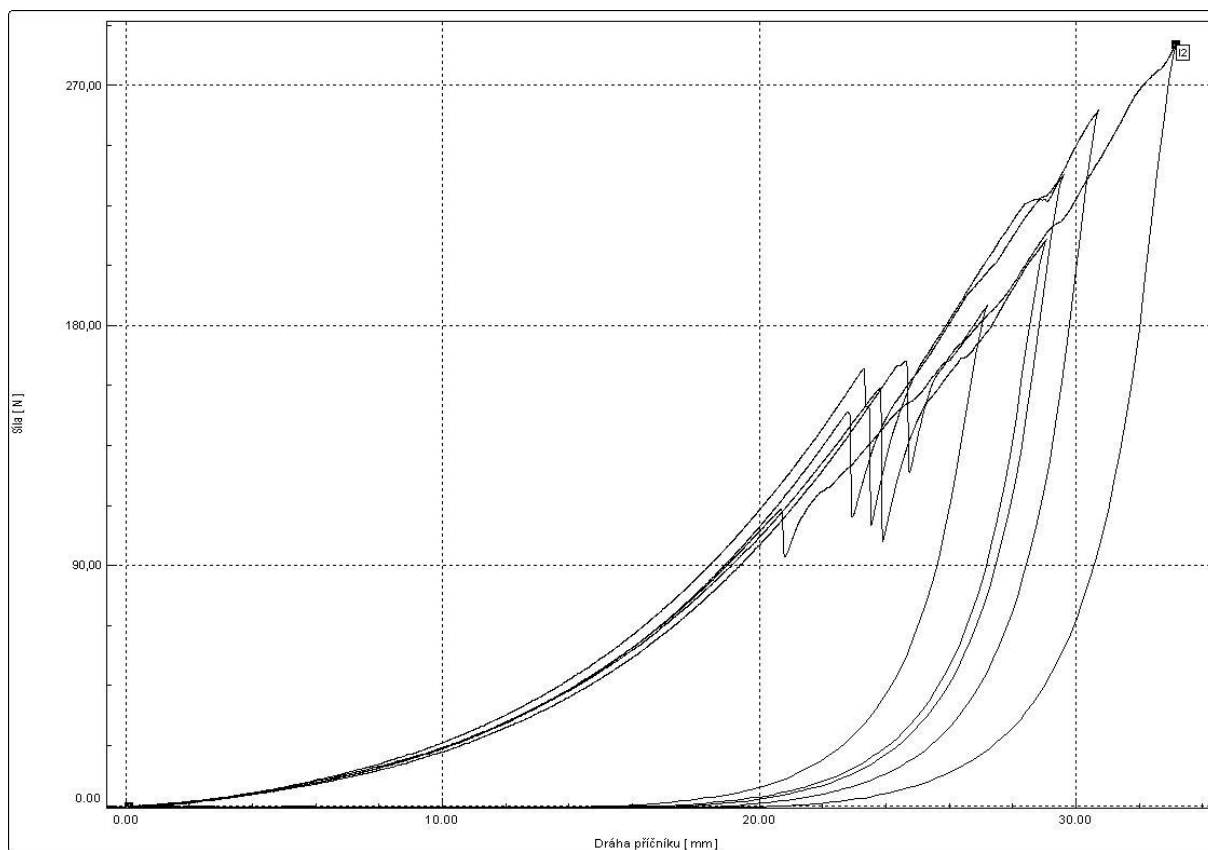
Obrázek 37: Závislost průměru na výšce vzorek č. 2

$$\varnothing D = 0,0764h + 2,6545 \quad (8)$$

5.2 Statické namáhání

Vzorek č. 1

Statické namáhání bylo provedeno shodně uspořádaným experimentem, s rozdílem spočívajícím ve statickém namáhání textilie. Rychlost deformace je tedy velmi nízká a konstantní. Hodnoty sil, které jsou použity k zatěžování, jsou získány z dynamického průběhu síly. Graf 1 ukazuje maximální dosažené síly při statickém namáhání, kde je možné vyčíst maximální sílu do protržení a dráhu příčnicku v mm.



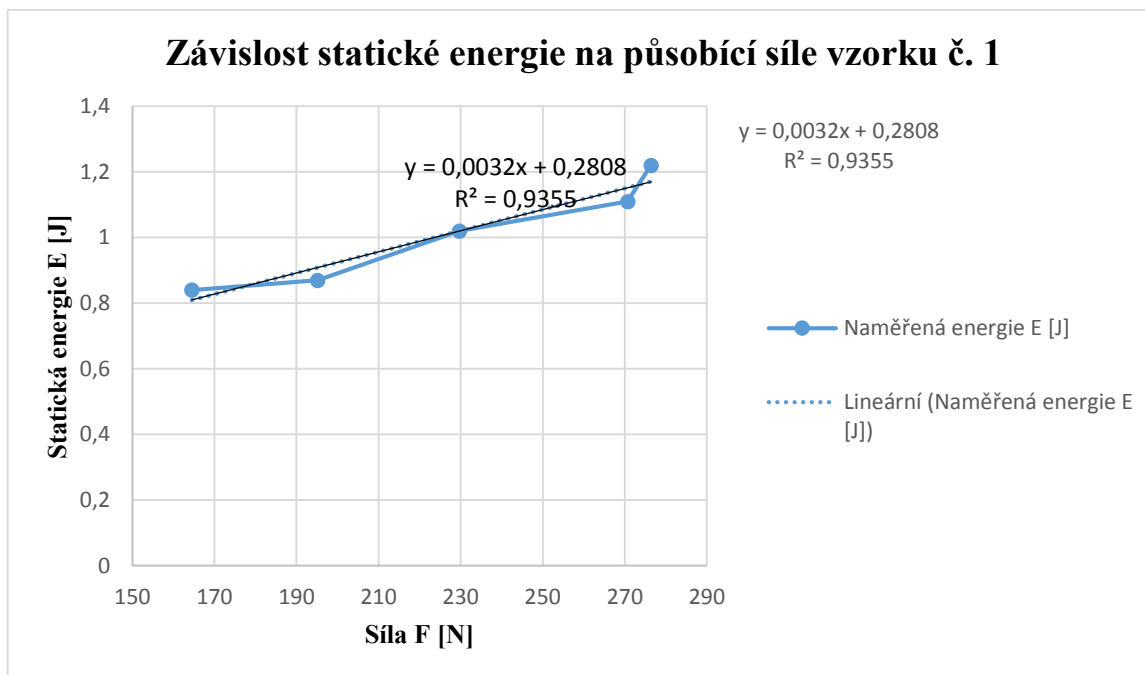
Graf 1: Statická síla v závislosti na dráze příčniku

Na základě těchto průběhů byla určena energie nutná k dosažení požadované síly. Hodnoty energie příslušející k jednotlivým silám, jsou uvedeny v tabulce č. 8. Síla je získána z lineární interpolace dynamické síly.

Působící síla F [N]	164,48	195,13	229,68	270,69	276,4
Naměřená energie E [J]	0,84+-0,05	0,87+-0,06	1,02+-0,08	1,11+-0,1	1,22+-0,1

Tabulka 8: Síla a staticky naměřená energie

Na obr. 32 je znázorněna závislost statické energie na síle, jejíž funkce je téměř lineární.



Obrázek 38: Závislost statické energie na síle.

$$E = 0,0032F + 0,2808 \quad (9)$$

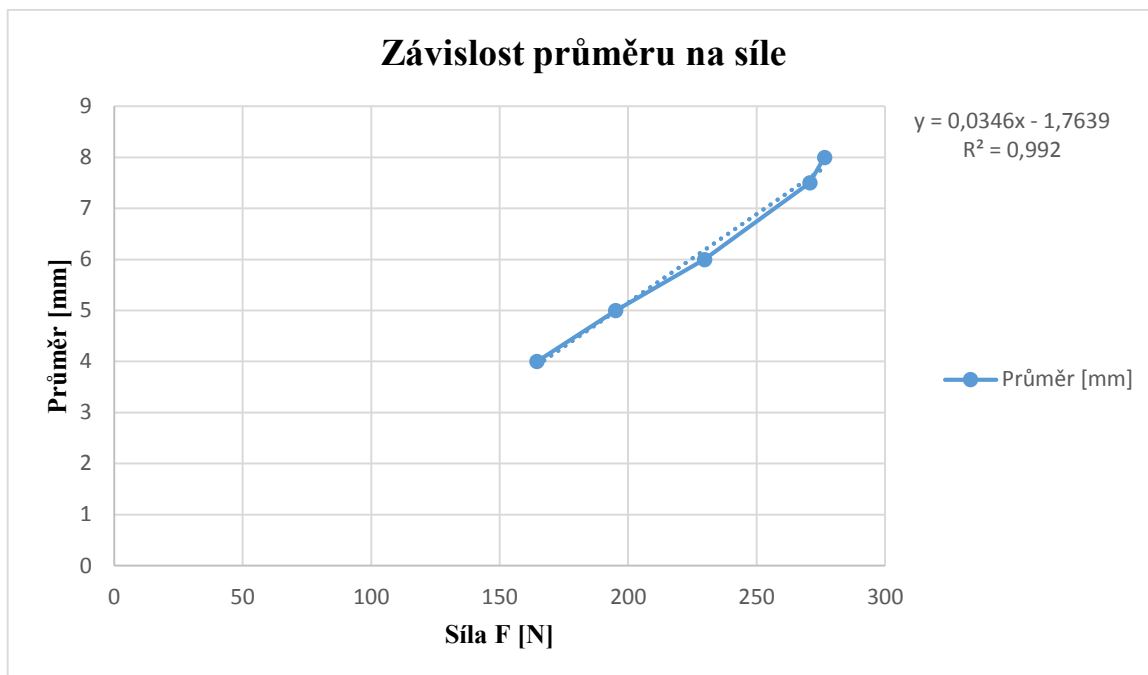
Velikost otvorů

Tabulka č. 9 představuje po sobě jdoucí vzorky s průměry otvorů, které byly vytvořeny při statickém namáhání. Průměry otvorů byly zjištěny pomocí měřicího kužele. Velikosti otvorů jsou výsledkem působící síly.

Působící síla F [N]	Otvor Ø [mm]
164,48	4
195,13	5
229,68	6
270,69	7
276,4	8

Tabulka 9: Velikost otvoru při statickém namáhání.

Na obr. 33 je znázorněna závislost průměru na síle, která je téměř lineární.

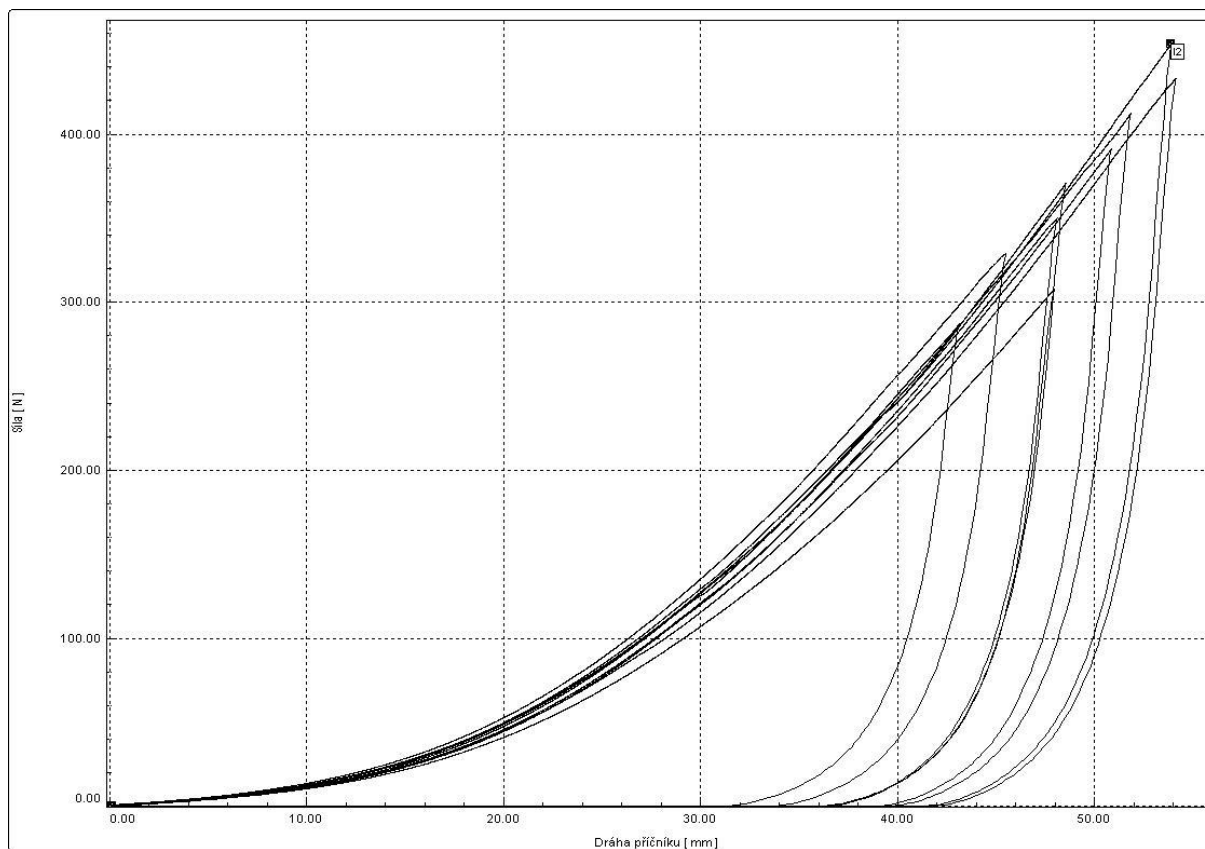


Obrázek 39: Závislost velikosti průměru na síle.

$$\varnothing D = 0,0346F - 1,7639 \quad (10)$$

Vzorek č. 2

Graf 2 popisuje maximální dosažené síly při statickém namáhání v závislosti dráze příčniku. Pro vznik tohoto grafu, bylo nutné dosadit dynamické síly do měřicího zařízení.



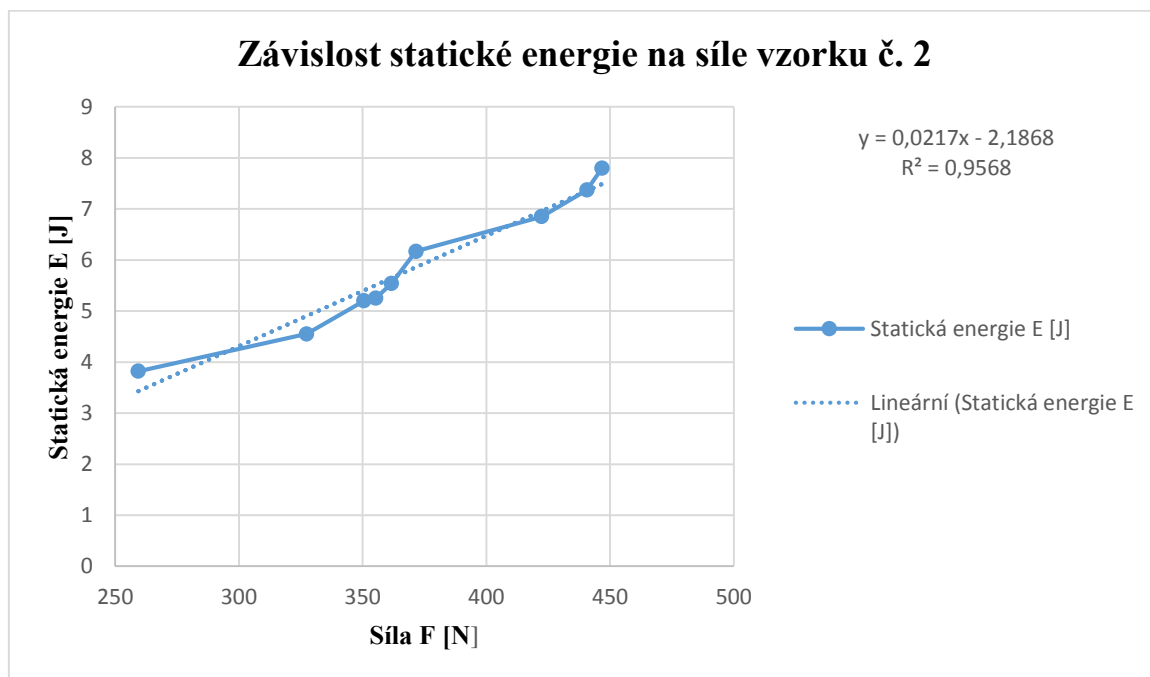
Graf 2: Statická síla v závislosti na dráze příčniku

Tabulka č. 10 představuje sílu společně se staticky naměřenou energií. K silám uvedeným v tabulce jsou přímo úměrné naměřené energie.

Působící síla F [N]	259,3	327,35	350,49	355,22	361,61	371,52	422,3	440,63	446,79
Naměřená energie E [J]	3,82 +-0,12	4,55 +-0,13	5,71 +-0,14	5,19 +-0,13	5,54 +-0,15	6,17 +-0,14	6,85 +-0,19	7,37 +-0,22	7,8 +-0,18

Tabulka 10: Síla a staticky naměřená energie

Na obr. 34 je znázorněna závislost statické energie na síle, jejíž funkce je téměř lineární.



Obrázek 40: Závislost statické energie na síle.

$$E = 0,0217F - 2,1868 \quad (11)$$

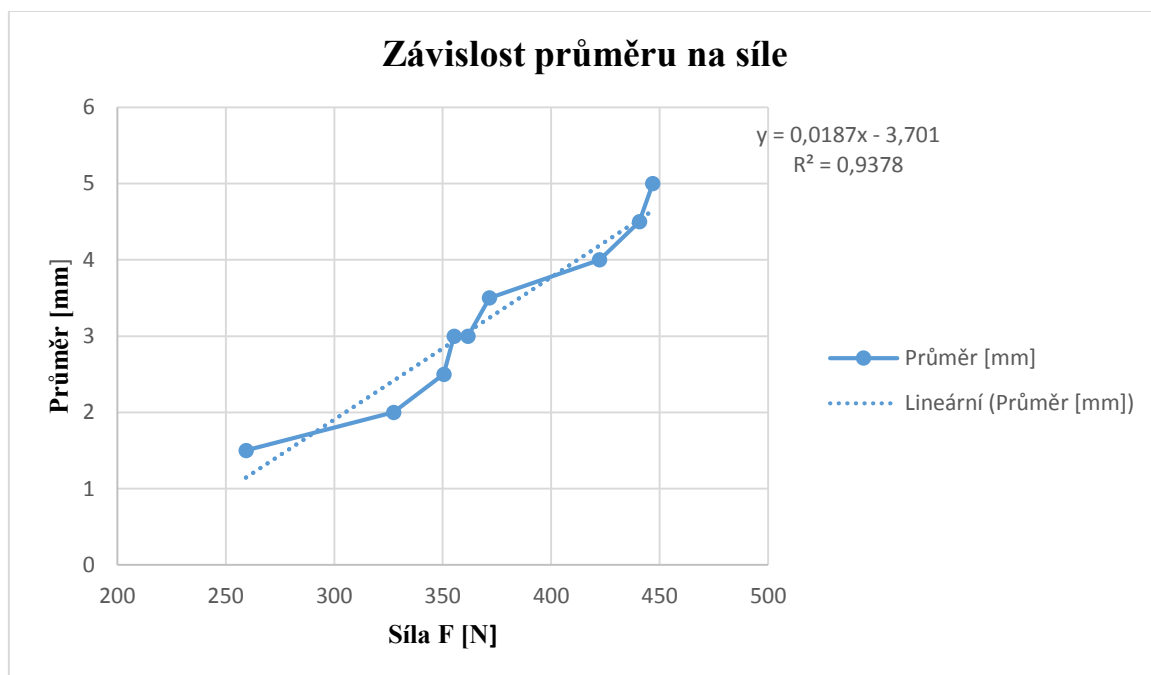
Velikost otvorů

Tabulka č. 11 představuje chronologicky po sobě jdoucí vzorky s průměry otvorů, které byly vytvořeny při statickém namáhání. Průměry otvorů byly zjištěny pomocí měřicího kužele. Velikosti otvorů jsou výsledkem působící síly.

Působící síla F [N]	Otvor Ø [mm]
259,30	1,5
327,35	2
350,49	2,5
355,22	3
361,61	3
371,52	3,5
422,30	4
440,63	4,5
446,79	5

Tabulka 11: Velikost otvoru při statickém namáhání.

Na obr. 35 je znázorněna závislost průměru na síle, která má téměř lineární trend.



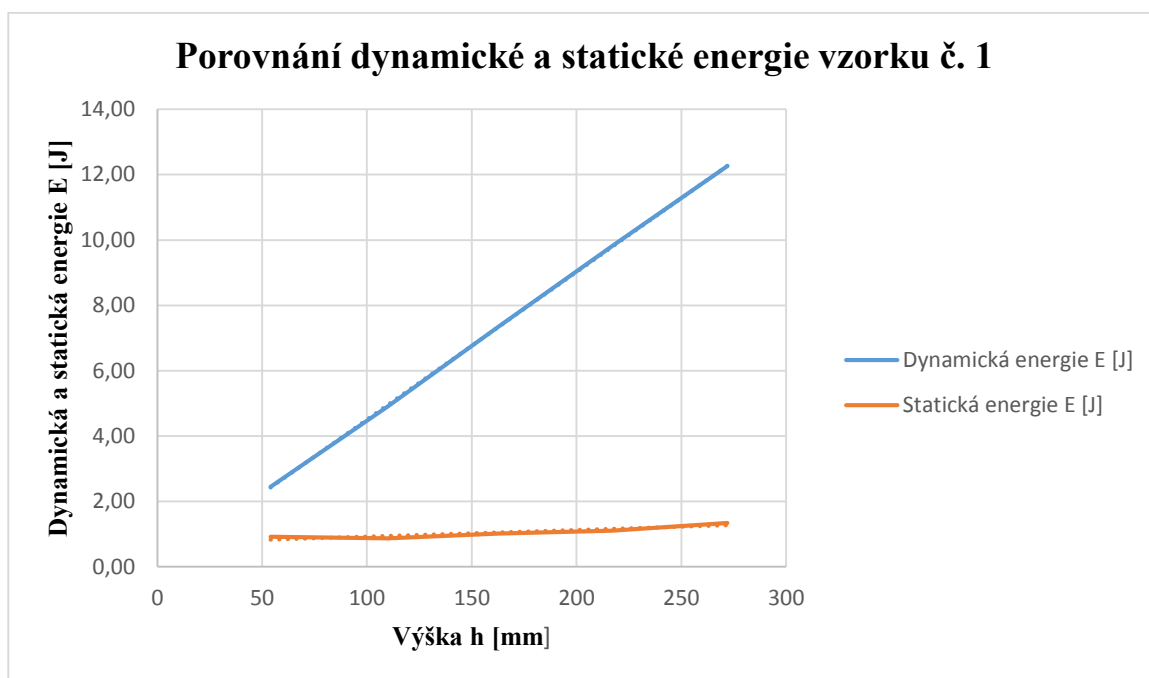
Obrázek 41: Závislost velikosti otvoru na síle

$$E = 0,0187F - 3,701 \quad (12)$$

5.3 Porovnání statického a dynamického namáhání

Vzorek č. 1

Na obr. 36 jsou vyneseny hodnoty z tabulky 12 do grafů. Je zřejmé, že dynamicky stanovená energie je výrazně vyšší než v případě staticky určené energie, přičemž dosažená síla je v obou případech shodná.



Obrázek 42: Porovnání statické a dynamické energie v závislosti na výšce vzorku č. 1

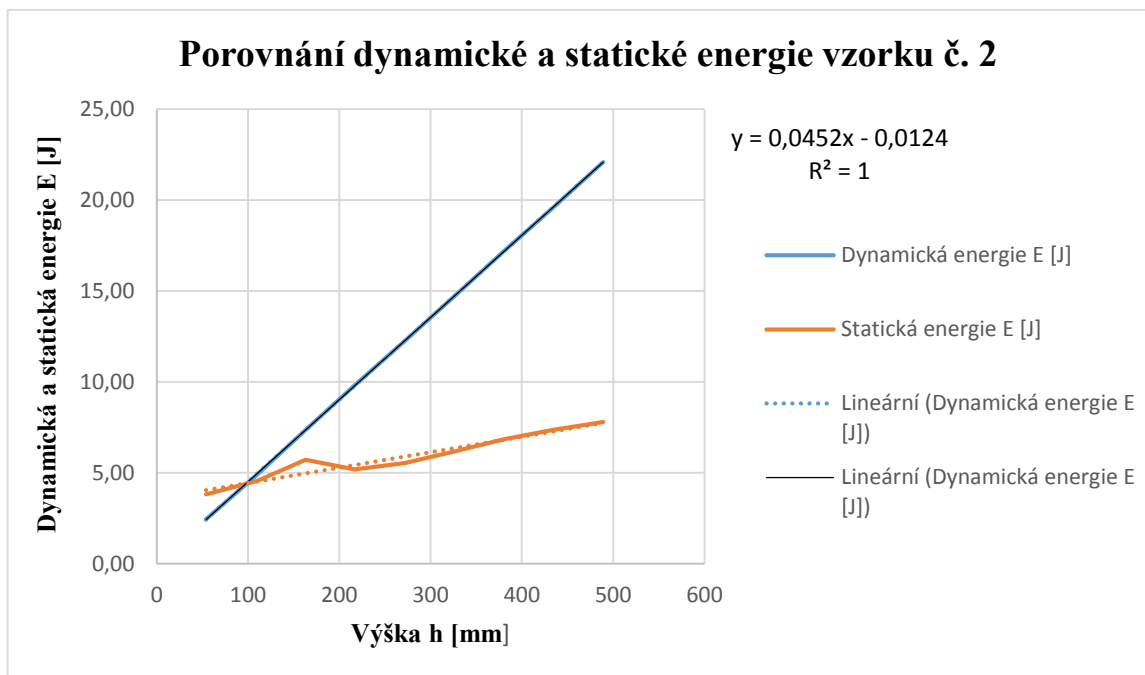
Tabulka č. 12 představuje vypočítanou potenciální energii a data staticky naměřená. V níže uvedené tabulce je možné porovnat potenciální energii s energií naměřenou. Potenciální energie byla získána z výše uvedeného vztahu rovnice (3), strana 56.

Dynamická energie E [J]	2,45	4,91	7,36	9,81	12,26
Lineární interpolace působící síly F_{lin} [N]	167,39	197,33	227,27	257,21	287,15
Statická energie E příslušející F_{lin} [J]	0,84	0,87	1,02	1,11	1,22

Tabulka 12: Potenciální energie a statická energie.

Vzorek č. 2

Obrázek 34 ukazuje statické a dynamické energie. Opět je patrný značný rozdíl mezi průběhem staticky a dynamicky získané energie, vyvozené shodnou silou.



Obrázek 43: Porovnání statické a dynamické energie v závislosti na výšce

$$E = 0,0452h + 0,0124 \quad (14)$$

Tabulka č. 13 ukazuje hodnoty dynamické a statické energie.

Dynamická energie E [J]	2,45	4,91	7,36	9,81	12,26	14,72	17,17	19,62	22,07
Lineární interpolace síly F_{lin} [N]	287,27	308,1	328,92	349,75	370,58	412,23	433,06	453,89	474,72
Statická energie E příslušející F_{lin} [J]	3,82	4,55	5,71	5,19	5,54	6,17	6,85	7,37	7,80

Tabulka 13: Porovnání statické a dynamické energie v závislosti na výšce

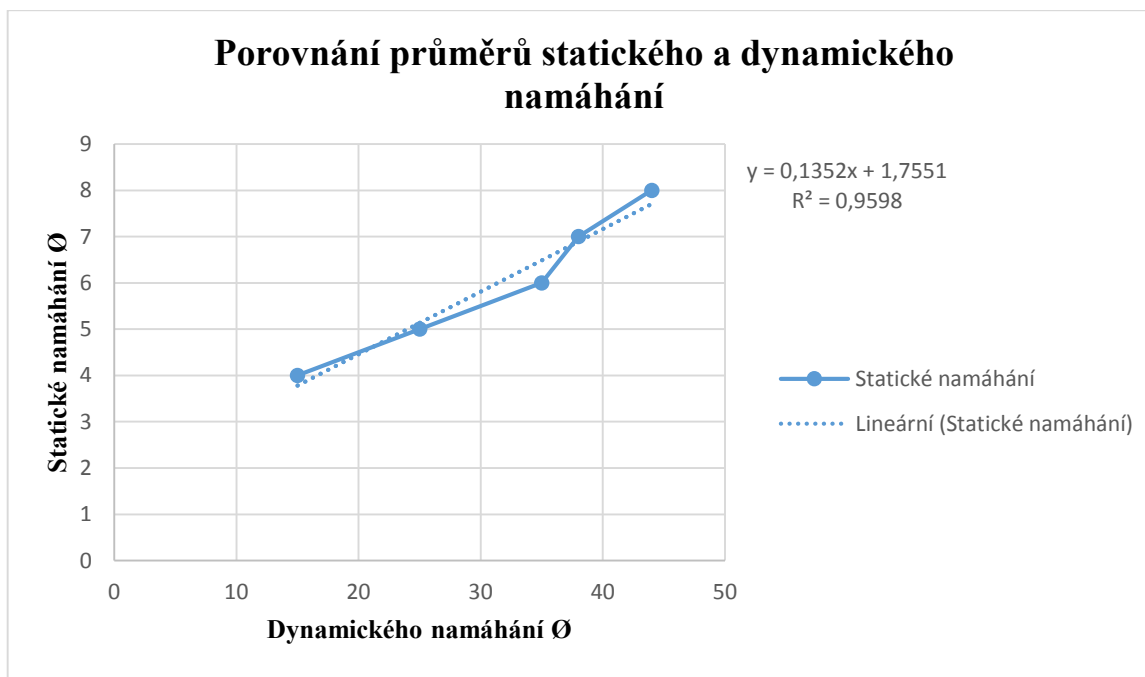
5.4 Porovnání průměrů otvorů.

5.4.1 Vzorek č. 1

Tabulka č. 14 znázorňuje porovnání průměrů otvorů statického a dynamického namáhání. Je patrný lineární trend.

Dynamické namáhání Ø	15	25	35	38	44
Statické namáhání Ø	4	5	6	7	8

Tabulka 14: Porovnání otvorů statického a dynamického namáhání pro vzorek č. 1.



Obrázek 44: Porovnání průměrů otvorů statického a dynamického namáhání vzorek č. 1.

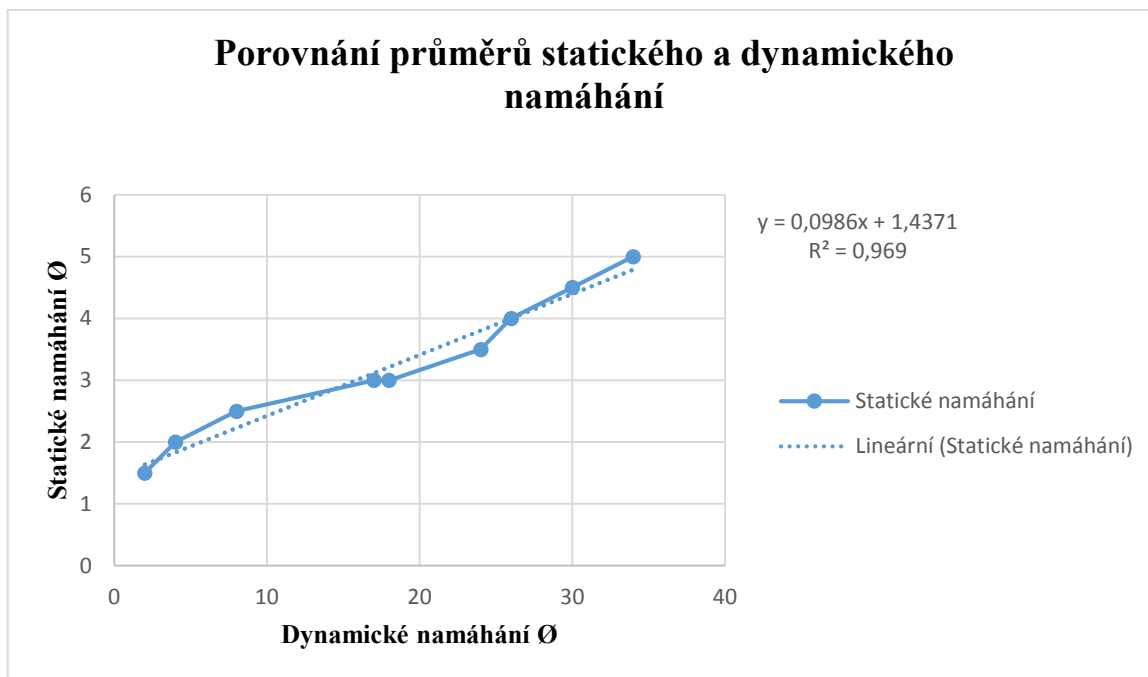
$$\text{Ø}D = 0,1352D + 1,7551 \quad (15)$$

5.4.2 Vzorek č. 2

Tabulka č. 15 znázorňuje porovnání průměrů otvorů statického a dynamického namáhání. Hodnoty jsou lineární.

Dynamické namáhání Ø	2	4	8	17	18	24	26	30	34
Statické namáhání Ø	1,5	2	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5

Tabulka 15: Porovnání otvorů statického a dynamického namáhání pro vzorek č. 2.



Obrázek 45: Porovnání průměrů otvorů statického a dynamického namáhání vzorek č. 2.

$$\varnothing D = 0,0986D + 1,4371 \quad (16)$$

6. Diskuze

Výsledky měření provedených při dynamickém namáhání vykazují ve všech případech víceméně obdobné chování. Tak jak roste energie dopadu, narůstá i síla potřebná k protržení textilie a zastavení pádu kužele, přičemž nárůst síly lze dobře aproximovat lineární závislostí a to pro obě použité textilie, které se svou strukturou významně odlišují. To je poměrně překvapivé zjištění, neboť dopadová rychlost se mění nelineárně, co je zřejmé zejména u nižších hodnot výšky (viz obr. 27).

Obdobnou situaci lze sledovat i u velikosti otvoru, která se pádem kužele vytvoří. Energie, která byla zjištěna staticky, tedy při malé rychlosti deformace, při silách zjištěných při dynamické zkoušce mají opět přibližně lineární charakter. To lze říci také o průběhu křivky znázorňující nárůst průměru otvoru na rostoucí síle. Avšak hodnota energií je významně odlišná. V kapitole 4 byly vytvořeny dvě hypotézy a to, že energie statického a dynamického působení budou shodné, resp. podobné a pak jsou mechanické vlastnosti na působící rychlosti víceméně nezávislé nebo nastane opačný výsledek, tedy že energie se budou lišit a pak jsou mechanické vlastnosti textilie na rychlosti deformace závislé. Relevantní je druhá hypotéza, kde měřením bylo prokázáno, že energie jsou výrazně odlišné a tedy závislé na rychlosti deformace. Vzhledem k tomu, že jak statická, tak dynamická energie vykazuje přibližně lineární trend, lze se klonit spíše k předpokladu, že hlavním zdrojem silové reakce je energie, která s výškou roste lineárně, nikoliv dopadová rychlost, která má exponenciální charakter. Vpichovaná textilie je soudržná na základě tření mezi vlákny. Pokud textilie není dále pojena, ať už termicky nebo chemicky, jsou všechny vlákenné kontakty tzv. volné. Vzájemný pohyb vláken v kontaktu může nastat jen v případě, že třecí síla bude nižší než síla působící. Výsledná pevnost materiálu je tedy dána jak pevností samotných vláken, tak i pevností kontaktu realizovaného třecí vazbou. Při určování tahové křivky vpichované textilie lze ve fázi nižšího zatížení při nízké rychlosti deformace pozorovat periodický tvar křivky. Síla skokově poklesává a opět roste. Takový průběh se vysvětluje reorganizací útvaru vlivem působícího napětí, kdy dojde k překonání třecích vazeb v určitém místě textilie a proklouznutí vláken. Tím dojde k prodloužení útvaru a poklesu napětí, což umožní zastavení prokluzu a vytvoření nových třecích vazeb. Tento jev se neustále opakuje, až dojde k takovému stavu, kdy protažení, že vlákna již mají jen malé množství kontaktů a nepřenášejí tak téměř žádnou sílu. Výše popsaný stav lze popsat analyticky Eulerovým vztahem, kdy každý kontakt přispívá k určitému úhlu opásání, který v celkovém součtu již tvoří vysokou hodnotu, dostatečnou k pevnému ukotvení vláken. Okamžik, kdy dochází k prokluzu, je okamžikem překonání statického tření, po němž následuje pohyb s třením dynamickým. Dynamické tření dosahuje vždy hodnot nižších nežli

tření statické. Jak velký je mezi nimi rozdíl, je dáno mnoha faktory, jako je kvalita povrchu vlákna, přítomnosti a typu lubrikace, hodnoty tlakové síly v kontaktu, doby existence kontaktu, kontaktní plochou, typem polymeru, parametry netkané textilie a dalšími. Určení velikosti vlákenného tření je proto velmi složitý úkol s nejistými výsledky. Existence dvojího typu tření však může vysvětlit, proč je energie dosažená při statickém a dynamickém namáhání takto významně odlišná. Zřejmě totiž dochází při rychlém ději ke stavu, kdy vlákno v kontaktu proklouzne prakticky v celém průřezu víceméně v jeden okamžik. Překonává se tak zejména statické tření, které bude vyžadovat logicky vyšší energii, zatímco u statického namáhání to je kombinace statického a zejména dynamického tření. Mechanismus selhání vláken bude při dynamickém namáhání spíše přetržení, zatímco u statického se bude jednat spíše o vytažení vlákna. Tuto domněnku by však bylo nutné potvrdit rozsáhlejší studií. Je zřejmé, jak již bylo výše uvedeno, že skutečný poměr mezi staticky a dynamicky změřenou energií bude odvislý na kvalitě kontaktu. Nicméně toto zjištění ukazuje, že při vysokých rychlostech deformace se v důsledku mechanismu porušení textilie může dosáhnout podobných vlastností jako u textilie pojené nebo textilie vyrobené z nekonečných vláken. Zejména pro balistické aplikace a všude tam, kde se vyžaduje vysoká rázová pevnost to je důležitý poznatek.

Pokud se srovnají statické a dynamické energie v koncových bodech, lze zjistit, že v případě vzorku č. 1 je dynamická energie při stejné působící síle přibližně 10x větší a v případě vzorku č. 2 se jedná o 2,8 násobek. To může být vysvětleno tím, že vzorek č. 2 obsahuje mnoho krátkých a porušených vláken a vliv statického tření není tak významný jako u vláken dlouhých. Je zřejmé, jak již bylo výše uvedeno, že skutečný poměr mezi staticky a dynamicky změřenou energií bude odvislý na kvalitě kontaktu.

Průměr otvorů roste s rostoucí silou taktéž lineárně a to u obou vzorků. Je zde však zřejmý velký rozdíl v průměru otvoru, kdy dynamická zkouška vytváří v textilii výrazně větší otvory v porovnání. Opět to platí pro oba vzorky. Potvrzuje to teorii, že při rychlém ději se překoná pouze statické tření a následně dojde k přetrhu vlákna, zatímco při statickém namáhání se vlákna mohou posouvat, aniž by se přetrhla.

Tato zjištění ukazují, že při vysokých rychlostech deformace se v důsledku mechanismu porušení textilie může dosáhnout podobných vlastností jako u textilie pojené nebo textilie vyrobené z nekonečných vláken. Zejména pro balistické aplikace a všude tam, kde se vyžaduje vysoká rázová pevnost to je důležitý poznatek.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo studovat vliv dynamického zatížení na chování materiálu. Dále byly popsány vybrané vlastnosti vpichovaných textilií. Tomu se věnovala rešeršní část práce. Dále bylo nejen na základě rešerše navrženo zařízení pro testování vlastností textilií při vyšší rychlosti deformace. Zařízení – padostroj umožňuje zjišťovat destrukci textilie při různých výškách dopadu testovacího tělesa – kuželu a také měřit dopadovou sílu pomocí tenzometrického snímače připojeného k měřicí ústředně Dewetron. Dále byla zrealizována komparativní metoda, umožňující namáhat vzorky stejným tělesem staticky při konstantní rychlosti deformace.

Pro ověření hypotézy byly použity dvě sady vzorků vpichované textilie se zcela odlišnými parametry. Měřeny byly síly potřebné k zastavení padajícího kuželu textilií. Tyto síly byly vstupním parametrem pro statické měření. Výsledkem byly energie získané ze statického a dynamického namáhání a dále velikost otvorů, které padající kužel v textilii vytvořil.

Bylo zjištěno, že stejná síla vyvolává zcela odlišnou energetickou reakci. Příčinou je zřejmě fakt, že při namáhání se projevuje statické i dynamické vlákenné tření. To jakou měrou je do děje to které zapojeno, ovlivní i výslednou energetickou odezvu materiálu. Podobná situace nastala i při stanovení velikosti otvorů, kdy při stejné působící síle jsou vytvořené otvory v případě dynamického namáhání výrazně větší. Všechny závislosti vykazují prakticky lineární trend. Závěrem lze tak konstatovat, že vpichované textilie, které byly pro test použity, vykazují vlastnosti výrazně závislé na rychlosti deformace.

Výše popsaným byly naplněny body zadání bakalářské práce, bylo navrženo a ověřeno navržené zařízení a byly získány zajímavé poznatky použitelné pro další výzkum v této oblasti.

Použitá literatura:

- [1] ZHERNOKLETOV, Mikhail V. a B. L. GLUSHAK. *Material Properties under Intensive Dynamic Loading*. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2006. ISBN 3-540-36844-2
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy: Střední odborné učiliště Svitavy, 2016 [cit. 2019-04-16]. ISBN 978-80-88058-68-7.
Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [3] SCHINDLER, Ivo a Petr KAWULOK. *DEFORMAČNÍ CHOVÁNÍ MATERIÁLŮ* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2019-02-15].. Dostupné z:
http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/13_Deformacni_chovani_materialu/Schindler_Deformacni_chovani_materialu.pdf ISBN 978-80-248-3361-3
- [4] GUPTA, Bhupender S. *Friction in Textile Materials*. Cambridge, England: Woodhead Publishing, 2008. ISBN 9781845694722.
- [5] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie* [online]. In: . [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/47069817-Netkane-textilie-prof-rndr-oldrich-jirsak-csc-ing-klara-kalinova-ph-d.html>
- [6] *Groz-Beckert* [online]. In: . 2019 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.groz-beckert.com/de/produkte/felting/filznadeln/>
- [7] *Haberkorn: Item* [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z:
[file:///C:/Users/Josef/Desktop/BP%202018/Materi%C3%A1l%20a%20p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD%20\(MB\)%20%20%20Haberkorn.htm](file:///C:/Users/Josef/Desktop/BP%202018/Materi%C3%A1l%20a%20p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD%20(MB)%20%20%20Haberkorn.htm)
- [8] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie* [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/47069817-Netkane-textilie-prof-rndr-oldrich-jirsak-csc-ing-klara-kalinova-ph-d.html>
- [9] *Tenzometr* [online]. In: . [cit. 2019-03-22]. Dostupné z:
<http://www.mikropul.com.cn/contact/tupian/HBM/RSCA.pdf>
- [10] *Vpichovací jehla* [online]. In: . [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTukExvaMISuYNGETL135Dj9HfO4ogCwSYzWL44To0ypi2-3wAfLw>
- [11] *Ocel kruhová tažená* [online]. In: . [cit. 2019-03-22]. Dostupné z:
https://1554450160.eshop-rychle.cz/fotky5048/fotos/_vyr_435_ocel-kruhova---svazek_3-300-WM-SH-1-1.jpg
- [12] *Lineární kuličkové ložisko* [online]. In: . [cit. 2019-03-22]. Dostupné z:
<https://encrypted->

tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT1tZoouLxxFqy5TINkPwSW3DxjG5eI1pyV
Wmu5lMW2yEkxB8yHew

Seznam obrázků

Obrázek 1: Obecná Wöhlerova křivka pro ocel a polymer.....	14
Obrázek 2: Schéma časové závislosti cyklického namáhání	15
Obrázek 3: Hysterezní smyčka	16
Obrázek 4: Průběh rázové zkoušky Charpy.....	18
Obrázek 5: Průběh rázové zkoušky Izod	19
Obrázek 6: Plstící jehla redukováná	20
Obrázek 7 Schéma vpichovacího stroje	21
Obrázek 8: Znázorňuje vpichovací linku.	22
Obrázek 9: Jehla Standard-Dreikant	22
Obrázek 10: Jehla Variokerbennadel	23
Obrázek 11: Jehla Konische Nadel.....	23
Obrázek 12: Jehla Cross STAR	23
Obrázek 13: Jehla Tri STAR.....	24
Obrázek 14: Jehla Tropfenform	24
Obrázek 15: Jehla EcoStar	25
Obrázek 16: Schematické znázornění hloubky vpichu	26
Obrázek 17: Padostroj.....	30
Obrázek 18: Znázorňuje Item profily	31
Obrázek 19: Znázorňuje lineární kuličkové ložisko s polyamidovou klecí.	32
Obrázek 20: Znázorňuje ocel taženou kruhovou.	32
Obrázek 21: Tenzometr	33
Obrázek 22: Normovaný kužel.	34
Obrázek 23: Kruhové čelisti posazené na nádobě s upnutou textilií při průchodu normovaného kužele.	35
Obrázek 24: Kruhové čelisti	35
Obrázek 25: Frézování otvoru na pracovišti laboratoří CXI.....	36
Obrázek 26: Uložení lineárního kuličkového ložiska s ocelí taženou kruhovou ve vetknutém nosníku.	37
Obrázek 27: Kompletní padostroj s měřícím zařízením	38
Obrázek 28: Tloušťkoměr.....	39
Obrázek 29: Výkres měřícího kužele.....	41
Obrázek 30: Měřící kužel	42
Obrázek 31: Měřící zařízení Dewetron.....	42

Obrázek 32: Závislost energie pro danou hmotnost padajícího tělesa na výšce pádu.	44
Obrázek 33: Závislost rychlosti pro danou hmotnost padajícího tělesa na výšce pádu.	45
Obrázek 34: Závislost dynamické síly na výšce	48
Obrázek 35: Závislost průměru na výšce	49
Obrázek 36: Závislost dynamické síly na výšce	50
Obrázek 37: Závislost průměru na výšce vzorek č. 2	51
Obrázek 38: Závislost statické energie na síle.	53
Obrázek 39: Závislost velikosti průměru na síle.....	54
Obrázek 40: Závislost statické energie na síle.	56
Obrázek 41: Závislost velikosti otvoru na síle.....	57
Obrázek 42: Porovnání statické a dynamické energie v závislosti na výšce vzorku č. 1.....	58
Obrázek 43: Porovnání statické a dynamické energie v závislosti na výšce	59
Obrázek 44: Porovnání průměrů otvorů statického a dynamického namáhání vzorek č. 1.	60
Obrázek 45: Porovnání průměrů otvorů statického a dynamického namáhání vzorek č. 2.	61

Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní zjištěné údaje o vzorku č. 1	40
Tabulka 2: Základní zjištěné údaje o vzorku č. 2	40
Tabulka 3: Závislost potenciální energie a výšky pádu	44
Tabulka 4: Hodnoty dynamické síly a jejich lineární interpolace v závislosti na výšce vzorku č. 1.....	47
Tabulka 5: Závislost velikosti průměru otvoru na výšce pádu	48
Tabulka 6: Hodnoty dynamické síly a jejich lineární interpolace v závislosti na výšce vzorku č. 2.....	49
Tabulka 7: Závislost velikosti průměru otvoru na výšce.	50
Tabulka 8: Síla a staticky naměřená energie.....	52
Tabulka 9: Velikost otvoru při statickém namáhání.	53
Tabulka 10: Síla a staticky naměřená energie.....	55
Tabulka 11: Velikost otvoru při statickém namáhání.	56
Tabulka 12: Potenciální energie a statická energie.	58
Tabulka 13: Porovnání statické a dynamické energie v závislosti na výšce.....	59
Tabulka 14: Porovnání otvorů statického a dynamického namáhání pro vzorek č. 1.....	60
Tabulka 15: Porovnání otvorů statického a dynamického namáhání pro vzorek č. 2.....	60

Seznam grafů

Graf 1: Statická síla v závislosti na dráze příčnicku	52
Graf 2: Statická síla v závislosti na dráze příčnicku	55